

FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FACULTY OF METALLURGY AND MATERIAL ENGINEERING

Tepelné a mechanické vlastnosti ABS

Thermal and mechanical properties of ABS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jméno a příjmení, skupina:	Ondřej Čajan, HB3MTA01
Vedoucí bakalářské práce:	prof. RNDr. Pavol Košťál, CSc.

Ostrava 2014/2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Čajan**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: Tepelné a mechanické vlastnosti ABS
Thermal and mechanical properties of ABS

Zásady pro vypracování:

- Literárna rešerš problematiky.
- Meranie mechanických vlastností polymérov.
- Meranie tepelných vlastností pevných látok.
- Analýza nameraných dát a ich zhodnotenie.

Seznam doporučené odborné literatury:

PREKOP, Š., VÁRKOLY, L., KUČMA, A., ĎURIŠ, Š., FEDOROVÁ, E., MATUŠČINOVÁ, A., MICHÁLEK, J.: Gumárenská technológia I. Žilina 1998.

HOLZMULLER, W., ALTENBURG, K.: Physik der Kunststoffe. Berlín 1961.

KREMPASKÝ, J.: Fyzika. Bratislava, Praha, Alfa, SNTL 1982.

KOŠTIAL, P.: Fyzikálne základy materiálového inžinierstva. ZUSI, ŽILINA 2000.

BAJÁK, I.: Diagnostika gumárenských výrobkov pomocou vlnových procesov. Int. rep. HZ 2/97, Púchov december 1997.

HUTCHINSON, J. M., SINGH, J., RYCHWALSKY, W. R., DELIN, M., KUBÁT, J., KLASON, C.: Physical Ageing Rates and Timescales For Poly(Vinyl Acetate) in the Tg-Region, Mechanics of time dependent materials. Ljubljana 1995.

ALTENBACH, J.: Phenomenological Modeling of Nonclassical Creep Deformation, Magneburg. Mechanics of time dependent materials. Ljubljana 1995.

KOC, P., ŠTOK, B.: Material Characterization Trough a Numerical Solution of Inverse Boundary-Value Problem. Mechanics of time dependent materials. Ljubljana 1995.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. RNDr. Pavol Košťál, Ph.D.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1)- Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry. Měl by korespondovat s podobou vnějších desek (viz část III) doplněnou o název práce, umístěný nad spojením *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení je napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a je vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listu vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. jedné strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání. BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý

– 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listu. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2013/2014. Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru.

Ostrava 22. 11. 2013

Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 29.4. 2015

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu prof. RNDr. Pavlovi Košťalovi, CSc. poskytnuté podklady, rady s vypracováním, výpočtem a za všechen jeho čas strávený na této bakalářské práci.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je, změřit tepelné a mechanické vlastnosti Akrylonitrilu-Butadienu-styrenu (*ABS*) plastu a porovnat tyto hodnoty s technickým listem, který byl přiložen k dodaným vzorkům tohoto plastu. Měření bylo vyhodnocováno na trhacím stroji *LFV 100*, který může vyvinout zatížení až *100kN*. Na tomto přístroji byla provedena tahová zkouška i ohybová zkouška. Zkouška rázem v ohybu dle Charpyho byla provedena ve zkušebně firmy, která dodala zkušební materiál. Tepelné vlastnosti byly měřeny metodou *LCM* vyvinutou na naší Fakultě metalurgie a materiálového inženýrství.

Klíčová slova

polymer, tepelné vlastnosti, termoplast, mechanické vlastnosti, elektronické vlastnosti,

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to measure thermal and mechanic properties of Akrylonitril-Butadien-Styren (*ABS*) and compare there results with technical list which was attached to the sample of this material. Measuring was done on tear machine *LFV 100*, which is able to apply maximum load *100kN*. Bending and tensile tests were done by this machine and impal bending test was investigated by Charpys test at testing company which gave us the tested material. Thermal properties were measured by *LCM* method developer at Faculty of metallurgy and materials engineering.

KeyWords

polymer, thermoplastic, thermalproperties, thermoplastic, mechanical properties, electronic properties,

Obsah

Obsah	9
Úvod	11
1 Makromolekulární řetězce.....	13
1.1 Homopolymery a kopolymery	13
1.2 Stereoizomerie	14
1.3 Struktura.....	15
1.4 Fázový stav	15
1.4.1 Vliv chemického složení.....	17
1.5 Lineární a rozvětvené polymery	18
1.5.1 Krystalizační schopnost	18
1.5.2 Molekulová hmotnost	19
1.6 Síťované polymery.....	21
1.7 Syntéza polymerů	22
Základní reakce.....	22
1.7.1 Polymerace	22
1.7.2 Polykondenzace	23
1.7.3 Polyadice	24
2 Rozdělení polymerů	25
2.1 Elastomery, kaučuky a pryže	25
2.2 Plasty – Termoplasty, Reaktoplasty.....	26
3 ABS – Akrylonitril-Butadien-styren	28
4 Experimentální část	31
4.1 Teorie tepelného měření	31
4.2 Mechanické zkoušky.....	38
	9

4.2.1 Tahová zkouška pro plasty.....	38
4.2.2 Ohybová zkouška pro plasty	44
4.2.3 Zkouška rázem v ohybu pro plasty	50
Závěr.....	49
Seznam literatury	53
Přílohy.....	52
Seznam obrázků.....	56
Seznam tabulek.....	61

Úvod

Široký sortiment plastů, které mají velkou škálu chemických a fyzikálních vlastností způsobil, že aplikace některých plastických hmot v různých odvětvích se stala rozsáhlou problematikou. Řešení této problematiky vyžaduje mnoho speciálních informací, zkušeností a znalostí.

Ve strojírenství se nejčastěji využívají konstrukční plasty. Jde o plasty, které se vyznačují vysokou měrnou pevností, tepelnou odolností a tvarovou stálostí. Tyto požadavky splňují zejména materiály *PP*, *PA*, *PC*, *PET*, *PMMA*, (zkratky podle tabulky č.2). Přípravou různých kompozitů a směsí z těchto matric je možné jejich základní vlastnosti modifikovat. Kromě uvedených základních vlastností musí konstruktér zkoumat i chování materiálu při dlouhodobém namáhání a potom bere v úvahu také různé specifické vlastnosti, jako odolnost proti otěru, koeficient roztažnosti, chemickou odolnost, elektrické vlastnosti atd. Vše závisí na požadavku určitého výrobku. Uvedme si pár příkladů.

Nejznámější aplikací ve strojírenství je výroba pouzder ložisek či ozubených kol z *PA*. Jsou odolné proti otěru, nekorodují, jsou méně hlučné a často mají i vyšší životnost než ocelové. Dopravníkové pásy z *PVC* se používají v dolech, potravinářství atd.

V automobilovém průmyslu jsou plasty aplikovány hlavně jako palubní desky, nárazníky a různé interiérové prvky. Dnes mohou být použity i jako části karosérií jako například blatníky či kapoty. Tento trend bude neustále narůstat. Neumožňuje nám to totiž jenom levnější výrobní náklady, ale snížíme i hmotnost automobilu a z toho vyplývá úspora pohonných hmot.

Ve stavebnictví mají plasty své uplatnění v podobě oken, dveří, fólií, krytiny atd. Nejvýznamněji jsou plasty využity ve stavebnictví jako roury pro rozvody plynu, pitné a užitkové vody

V elektrotechnice se plasty především uplatňují jako elektroizolační materiál. Jsou v podobě vypínačů, zástrček a různých spotřebičů. Například informační technologie by se bez plastů vůbec nevyvíjela. Používají se jako paměťová média, čipové prvky, tělesa počítačových soustav, tiskárny, mobilní telefony atd.

Požadavky na plasty jsou vysoké: jejich povrch musí být odolný vůči povětrnostním podmínkám a nesmí vytvářet praskliny. Musí vykazovat vysokou tuhost a houževnatost a to i při nízkých teplotách (-30°C) a na druhé straně odolnost proti zvýšeným teplotám, chemickou odolnost, sníženou hořlavost atd. Tyto požadavky můžeme splnit pomocí různých směsí a kompozitů.

Plasty jsou výborný obalový materiál, protože jsou lehko omyvatelné, odolávají vlhkosti, spolehlivě chrání zaoblený tvar atd. V neposlední řadě musíme připomenout potravinářský průmysl, který využívá plastové obaly na balení výrobků.

Cíle bakalářské práce

- literární rešerše problematiky bakalářské práce
- měření mechanických vlastností polymeru
- měření tepelných vlastností pevných látek
- analýza naměřených dat a jejich zhodnocení

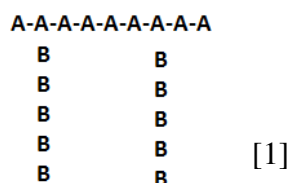
1 Makromolekulární řetězce

Slovo polymer vzniklo ze dvou řeckých slov „poly“ znamenající mnoho a „mer“ znamenající jednotka – polymer (mnoho jednotek). Proto někdy mluvíme o makromolekulách místo makromolekulárních řetězech, nebo řetězcích. Makromolekulová látka anebo polymer je všeobecný název pro označení sloučeniny, která má obrovské molekuly s velkou relativní molekulovou hmotností a jsou tvořeny stovkami až miliony atomů. Tyto atomy jsou spojeny chemickými vazbami bez ohledu na to, jak jsou polymery připraveny. Aby se chemický prvek, mohl stát součástí makromolekulárního řetězce musí být minimálně dvojvazný a chemická vazba musí být dostatečně pevná. Základní stavební částice polymerů se nazývá makromolekula. Tyto makromolekuly vznikají chemickou vazbou pospojováním molekul nízkomolekulárních látek (tzv. monomerů). Zabudováním molekuly monomeru do makromolekuly polymeru, vznikne základní stavební částice makromolekuly, která se nazývá mer. Tyto monomery vznikají v tak velkém množství, že i po odebrání, nebo přidání jedné nebo více monomerních jednotek (tzv. merů), se vlastnosti makromolekulární látky nezmění.[1]

1.1 Homopolymery a kopolymery

Vztahy mezi pojmy polymer, mer, monomer jsou znázorněny v tabulce č.1. Řetězce dělíme na dva typy a to: **homopolymer** schématicky označen AAAAAAAAAA jakožto A označuje mer jednoho druhu. V tabulce č.1 je můžeme vidět jako polyakrylonitril, polybutadien a, nebo polystyren. Další typ nazýváme **kopolymer**, jehož makromolekuly se skládají ze dvou, nebo více druhů merů a ten se dále dělí na:

- **statistický** – řetězce jsou tvořeny nepravidelně a střídají se zde nahodilé mery A-B-B-A-B-A
- **alternující** – řetězce se pravidelně střídají A-B-A-B-A-B
- **blokový** – řetězce tvořeny dvěma nebo více bloky merů různého druhu A-A-A-B-B-B-B
- **roubované** – mají na základním řetězci merů jednoho druhu „naroubovány“ postranní řetězce merů jiného druhu.

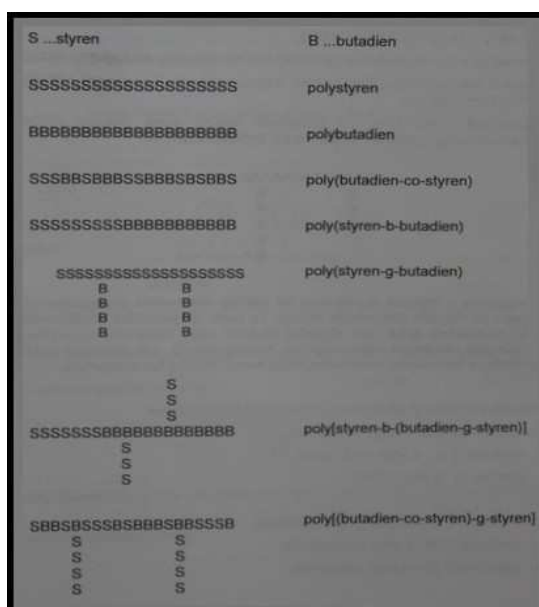


Tabulka 1 Označování[1]

Označování:

předpony		zkratky		symboly	
co	statický	cl	sesíťovaný	a	ataktický
g	roubovaný	br	rozvětvený	iso (i)	isotaktický
b	blokový			syndik (s)	syndiotaktický

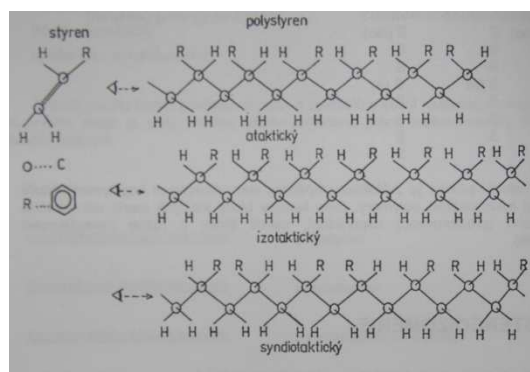
Použití předpon je pro určení jednotlivých druhů kopolymerů, označení zkratkou rozeznáme strukturu a symboly nám prozradí stereoizomerii neboli fakticitu řetězců. Vše můžeme vidět na následujícím obrázku č.1.[1]



Obrázek 1 Předpony[1]

1.2 Stereoizomerie

Stereoizometrie, neboli takticita, je prostorové uspořádání merů v makromolekule. Při staticky náhodném pospojování molekul monomeru při vzniku polymeru, vzniká nesymetrická struktura **ataktického** polymeru. Pokud se ale spojí molekuly monomeru s určitou pravidelností, vznikají taktické polymery. Ty se dále dělí na izotaktické a syndiotaktické. U izotaktických polymerů se uspořádání řetězců atomů, nebo skupin atomů jeví prostorově jako stejné, ale u syndiotaktických polymerů se jeví uspořádání atomů zrcadlově. Toto uspořádání můžeme vidět na obrázku č. 2.[1]



Obrázek 2 Schématické znázornění stereoizomerie (takticity) polystyrenu[1]

POJMY:

Relativní molekulová hmotnost – vyjadřuje součet všech relativních atomových hmotností všech atomů v makromolekule

Relativní atomová hmotnost – je to podíl hmotnosti atomu příslušného prvku a 1/12 hmotnosti atomu uhlíku

1.3 Struktura

Vlastnosti makromolekulárních řetězců závisí na molekulové hmotnosti, fázovém posuvu a chemickém složení. Vznikla taková teorie, že řetězce nejsou pevné částice, ale neustále samovolně se pohybující části neboli segmenty. Tyto dílce mohou nabývat různých geometrických uspořádání. I přesto, že tato teorie je zpracována do detailů, nemůže z toho odvodit makroskopické vlastnosti polymerů. Proto není jednoduché je schématicky rozdělit. Problémem této teorie jsou činitelé různých fyzikálních stavů, záviselých na chemickém složení a molekulové hmotnosti.[2]

1.4 Fázový stav

Bod varu, který je velice vysoký a nachází se ve všech případech nad teplotou rozkladu, má za následek značně vysoká molekulová hmotnost. Proto existují pouze polymery v kapalném a tuhém stavu, nemůže nastat plynný stav. Rozlišujeme proto geometricky pravidelné uspořádání makromolekulárních řetězců v tuhé fázi, na prakticky neuspořádaný stav sklovitý a vysoce uspořádaný stav krystalický.[2]

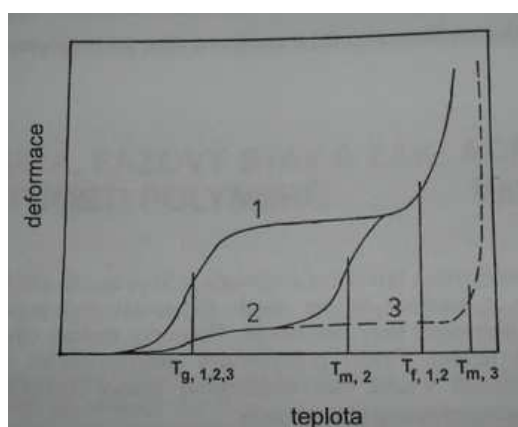
Sklovitý stav může odpovídat kapalnému stavu, díky malé míře uspořádání polymerních řetězců. Možnost pohybovat se z jednoho místa na druhé „téc“, je utlumena. V podstatě se v takovém stavu mohou objevovat všechny amorfnní látky.[2]

Oproti nízkomolekulárním látkám, se polymery vyznačují ještě přechodovým stavem. Tento stav se nachází mezi sklovitým a kapalným stavem. Říká se mu také stav kaučukovitý. Pokud se polymer nachází v tomto stavu, jde poměrně do nezvyklé míry malou silou deformovat. Bohužel nelze rozpoznat, zda jde o kapalinu, nebo tuhou látku. Poněvadž při této deformaci nenastává nevratný tok, který je charakteristický pro stav plastický – kapalný. Z těchto faktů můžeme určit, že polymery mohou být ve čtyřech různých fázových stavech:[1,2]

1. krystalickém – tuhá látka – po teplotě topení T_m
 - plasticky – kapalném – za teplotou T_m
2. amorfním
 - skelném (sklovitém) – po teplotu T_g
 - kaučukovitém – za teplotou T_g
 - plastickém – po teplot T_f

$$T_g < T_m < T_f < T_r$$

Je velice těžké rozlišit tyto zvláštní fázové stavy polymerů, jak dalece jsou amorfními kapalinami, tuhými nebo krystalickými látkami. Krystalický polymer můžeme poznat podle jeho chování za různých teplot tzv. teplotou tání (T_m - m z anglického slova „melt“- tát), a amorfní polymer tzv. teplotou skelného přechodu (zeskelnění) (T_g – g z anglického slova „glass“ – sklo). Každý polymer má svou typickou tzv. termomechanickou křivku viz. obrázek č.3. Tuto křivku získáme měřením v co nejkratším teplotním rozmezí. Určíme typický projev polymeru a to hodnotu deformace, které vzniká za působení určité síly po určitou dobu za dané teploty.[1]



Obrázek 3 Termomechanická křivka[1]

amorfní polymer (1), dva různé krystalické polymery (2,3)

T_g – teplota zesklenní, T_m – teplota tání, T_f – teplota toku

Krystalický stav ohraničuje teplota T_m . Teplota T_g ohraničuje oblast stavu amorfního (skelného), kaučukovitá oblast ohraničuje rozmezí teplot T_g a T_f . Zde se nachází převážně vratná deformace, která se s teplotou mění velmi málo. Další je teplota toku (T_f – z anglického slova „flow“ – tok), kde díky značnému zahřátí se začne projevovat viskózní tok a nastává nevratná deformace. Nad teplotou T_f je polymer v plastickém stavu.[1]

Každý polymer má jinou termomechanickou křivku, to znamená, že většinou nemá shodné teploty T_g a T_f . Je možné, že se mohou nacházet ve všech třech fázových amorfních stavech, jelikož může být teplota rozkladu vyšší než teploty T_g a T_f . Takový polymer poté můžeme charakterizovat jen ve skelném, nebo kaučukovitém stavu.[1]

Rozdělení, ve kterém stavu se polymer za běžných podmínek nachází a velikost teplotních rozmezí, určuje hlavně chemické složení a molekulová hmotnost makromolekulární látky.[1]

1.4.1 Vliv chemického složení

Polymery jsou vyhledávány z důvodu vysoké korozivzdornosti jako ochranný materiál proti korozi kovů, betonu, dřeva atd. Propustnost plastů pro páry a plyny, je nejvýznamnější z praktického hlediska pro ochrannou funkci povlaků. Působení tepla se u polymerů může projevit dvěma způsoby:[3]

- a) polymer může měknout, až tát. A kinetická energie řetězců může převýšit mezimolekulární síly. A díky působení vnějších sil se může plastická látka jevit jako kapalina a snadno měnit svůj tvar.[3]
- b) může nastat změna struktury, některé vysokomolekulární látky se mohou štěpit na nízkomolekulární produkty.[3]

Hořlavost polymerů je nejvíce ovlivněna chemickým složením. Velká hořlavost se hlavně projevuje u polymerů, které teplem nepolymerují, tzv. nezmění se na hořlavý monomer, nebo se rozkládají na hořlavé zplodiny (polystyren, přírodní kaučuk atd.). Díky nehořlavým prvkům (N, Si, P), které se v makromolekule vyskytují, snižují samozápalnost a hořlavost. Existují také samozhášivé látky a to jsou látky, které oddálí zápalný zdroj a již dále nehoří. Jedna se samozhášivých látek je *PVC*, je to látka považovaná za méně požárně nebezpečnou. Čím méně obsahuje polymer vodíku a kyslíku tím větší je poměr $C : O$ a tím menší je hořlavost polymeru.[3]

1.5 Lineární a rozvětvené polymery

Již v kapitole 1.4 jsme si popsali, že důležitým faktorem pro ovlivnění materiálových vlastností je fázový stav polymeru.[1]

1.5.1 Krystalizační schopnost

U rozvětvených a lineárních polymerů převládá schopnost, nebo neschopnost krystalizace, podle které polymery rozeznáváme.[1]

- samovolně nekrytalizující
- za žádných okolností nekrytalizující
- se sklonem k samovolné rekrytalizaci

O tom, jestli je polymer schopný krystalizace, rozhodují tyto činitele:

- geometrická pravidelnost
- ohebnost polymerního řetězce
- objem substituentů na něm vázaných, v případě rozvětvených makromolekul počet rozvětvení a délka postranních řetězců
- polarita skupin polymerního řetězce

Ideální by byl amorfnní polymer, jehož makromolekulární řetězce by zaujaly staticky nejpravděpodobnější uspořádání, to je nejneuspořádanější konformaci. Ve skutečnosti nemají polymery staticky náhodné konformace, ale energeticky výhodnější.[1]

Díky mezimolekulárním silám se vzájemně přibližují řetězce, které se urovnávají do konformace o nejnižší energii. Bohužel nastává tepelný pohyb segmentů makromolekul a to má opačný účinek. Je-li energie tepelného pohybu při určité menší než kohézní energie řetězců, nastávají v polymeru podmínky pro sdružování řetězců makromolekul ve větší těsné celky a jejich organizace do krystalického uspořádání. Krystalizace polymerů je obvykle v méně symetrických krystalických soustavách, nebo může být dokonce soustav více.[1]

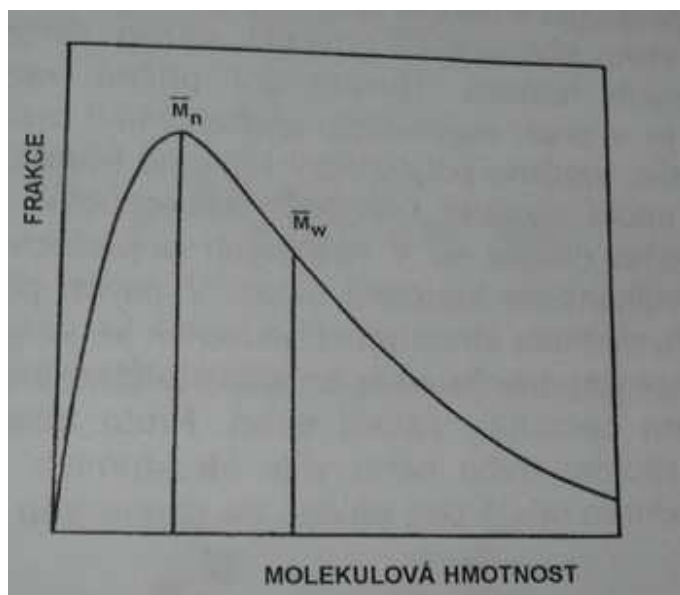
Polymery se sklonem k samovolné krystalizaci. Tyto polymery jsou obvykle termoplastické, filmotvorné, elastické a vláknotvorné, s vysokou houževnatostí a pevností. Velice často jsou špatně rozpustitelné v běžných organických rozpouštědlech. Zpravidla přecházejí rychle z tuhé fáze do taveniny tzn. úzká oblast kaučukovitosti. Proto se tyto polymery díky rychlému roztavení hodí pro vstřikování, naopak nehodí se pro zpracování vytlačováním, válcováním apod. Příkladem jsou polyamid, polyetylen, polypropylen.[1]

Polymery nekrytalizující za žádných okolností. Tyto polymery jsou většinou transparentní, křehké, mají dobrou rozpustnost v mnoha organických rozpouštědlech. Mohou to být reaktoplasty i termoplasty, které se dají zpracovávat téměř všemi technologiemi.[1]

Polymery, které nekrytalizují samovolně. Tyto polymery začnou krystalizovat pomocí působení deformační síly, nebo teprve až při snížení teploty. Při běžných podmínkách jsou kaučukovitého charakteru, jsou dobře rozpustné v rozpouštědlech, elastické a termoplastické. Vytlačování, lisování a válcování jsou charakteristické způsoby zpracování tohoto polymeru. Příkladem jsou přírodní kaučuky, syntetické kaučuky apod.[1]

1.5.2 Molekulová hmotnost

Dalším důležitým faktorem ovlivňující vlastnosti lineárních a rozvětvených polymerů je molekulová hmotnost. Pokud je molekulová hmotnost vysoká, je to nejdůležitější vlastnost pro odlišení nízkomolekulárních látek od makromolekulárních. Abychom úplně charakterizovali polymer, je nutno znát tuto molekulovou hmotnost. Tato hmotnost nám udává chování polymeru při různých podmínkách. Pokud chceme, aby makromolekulární látka měla aspoň nějakou mechanickou pevnost, musí počet merů (polymerační stupeň) v makromolekule dosáhnout minimálního rozmezí od 40 do 80. Pokud polymer překročí tuto hranici, získá v praxi pozoruhodných hodnot mechanické pevnosti, která se neustále zvětšuje při rostoucí délce řetězce. Dalším rozdílným faktem od struktury nízkomolekulárních látek je, že řetězce v jedné a téže makromolekulární látce nejsou stejné, ale mají různou délku. Molekulovou hmotnost stanovujeme staticky. Vypočítáme střední (průměrnou) hodnotu. Všechno rozdělení molekulových hmotností jde názorně vystihnout tzv. distribuční křivkou viz. obrázek č.4, což je závislost hmotnosti polymeru o dané velikosti makromolekuly na délce makromolekulárního řetězce, nebo jeho molekulové hmotnosti.[1]



Obrázek 4 Distribuční křivka molekulových hmotností polymeru [1]

M_n – početně střední molekulová hmotnost

M_w – hmotnostně střední molekulová hmotnost

Dalším způsobem je výpočtová metoda. Početně střední molekulová hmotnost M_n (n z anglického slova „number“ – počet) / hmotnostní střední molekulová hmotnost M_w (w z anglického slova „weight“ – hmotnost). Tento poměr M_w/M_n nazýváme disperzita molekulové hmotnosti. Tato disperzita se u běžných polymerů pohybuje okolo 1,5 – 2,0, ale může být i 20 – 50.[1]

Disperzita má hlavně vliv na rozpustnost polymerů, teplotu měknutí, pevnost, pružnost, viskozitu roztoků a tavenin, tepelnou stálost a další vlastnosti, zvláště na odolnostní vlastnosti.[1]

1.6 Síťované polymery

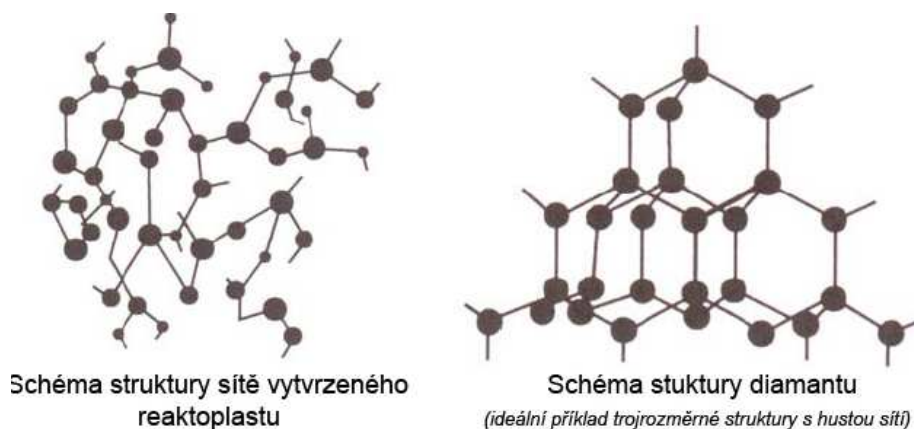
Síťovaný polymer je vlastně makromolekulární látka a řetězce, makromolekul tvoří trojrozměrnou prostorovou síť, které jsou navzájem spojeny chemickými vazbami. Vzniká vzájemnou reakcí dvou, nebo více monomerů o formální funkčnosti, nebo sesíťováním rozvětveného nebo lineárního polymeru.[1]

Síťování lineárních polymerů je typické pro kaučuky, ale v současné době se již v průmyslu používá u jiných polymerů, např. polypropylen, polyethylen. Síťování poskytuje polymeru některé prospěšné vlastnosti. Hlavně za zvýšených teplot je lepší tvarová stálost a zlepší se i fyzikálně-mechanické vlastnosti.[1]

Máme lineární polymer o určité molekulové hmotnosti a po přivedení malého počtu příčných vazeb roste molekulová hmotnost, aniž by se vytvořila trojrozměrná polymerní síť. A po dosažení určitého počtu příčných vazeb začínají vznikat první trojrozměrné struktury gelu, struktura je tedy v bodě gelovatění. Pokud, ale vznikne polymer o vyšší koncentraci příčných vazeb, je složen ze dvou částí. Skládá se ze solu, který je rozpustný a jde odstranit a gelu, jenž je nerozpustný ve všech rozpouštědlech. Pokud se polymer nachází v bodu gelovatění výrazně se mění jeho vlastnosti. Například, pro síťování lineárních polymerů, jenž je charakteristické pro kaučuky. Máme směs nevulkanizovaného kaučuku a vulkanizačního činidla a jsme schopni směs vytlačovat, válcovat, nebo popřípadě jinak tvarovat, v okamžiku, kdy nastane vulkanizační (síťovací) reakce, se směs po určité době dostane do bodu gelovatění. V tomto bodu přestává být směs plastická a při daném stupni sesíťování, již nelze tvarovat.[1]

Můžeme tedy říci, že pokud byl polymer v lineárním stavu dokonale rozpustný v rozpouštědlech, po sesíťování se nerozpouští. Zpravidla jsou netavitelné a bobtnají. Do jisté, velmi malé míry sesíťování si zachovávají určitou tepelnou tvarovatelnost, která prudce klesá s rostoucí koncentrací příčných vazeb.[1]

U lineárních polymerů je koncentrace příčných vazeb síťování poměrně malá. Například v sesíťovaných kaučucích (vulkanizátech) je 10–20 sesíťovaných monomerních jednotek na jedné původní makromolekule. Oproti polymerům s trojrozměrnou strukturou, které vzniknou díky polyreakci vícefunkčních monomerů. Jako dokonalý příklad trojrozměrné struktury s hustou sítí můžeme uvést diamant a strukturu reálné sítě vytvrzeného reaktoplastu viz. obrázek č.5.[1]



Obrázek 5 Prostorové zesíťování [1]

Proto rozměry i molekulová hmotnost u lineárních a rozvětvených makromolekul jsou omezeny. Tyto makromolekuly jsou ve zředěných roztocích jako samostatné jednotky. Pokud je makromolekula v hmotě obsahující prostorovou síť, nemá rozměrové omezení a její molekulová hmotnost je teoreticky neomezená, ale z praktického hlediska je udaná velikostí produktu.[1]

1.7 Syntéza polymerů

Základní reakce

Syntetické polymery vzniknou pomocí polyreakce, jsou tři základní typy:

- řetězové polymerace
- polykondenzace
- stupňovité polyadice

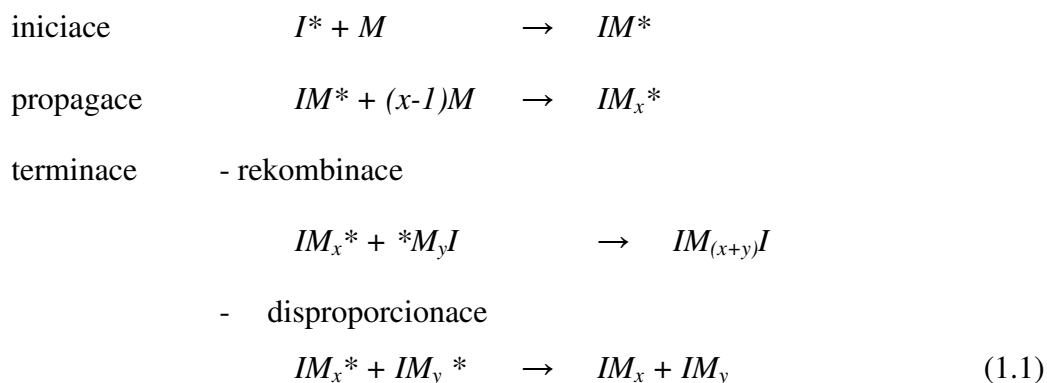
1.7.1 Polymerace

Polymerace je vznik dlouhých makromolekul polymeru při chemické řetězové reakci velkého počtu molekul monomeru. Během průběhu této reakce je stejné chemické složení monomeru jako polymeru a nevznikají vedlejší produkty.[1]

Díky polymeraci vzniká makromolekulární řetězec, jenž za velice krátkou dobu je schopen vzrůst na svou koncovou délku. To znamená, že v každé fázi polymerace jsou vedle sebe v reakční hmotě nezreagované makromolekuly polymeru a molekuly monomeru ve své koncové míře.[1]

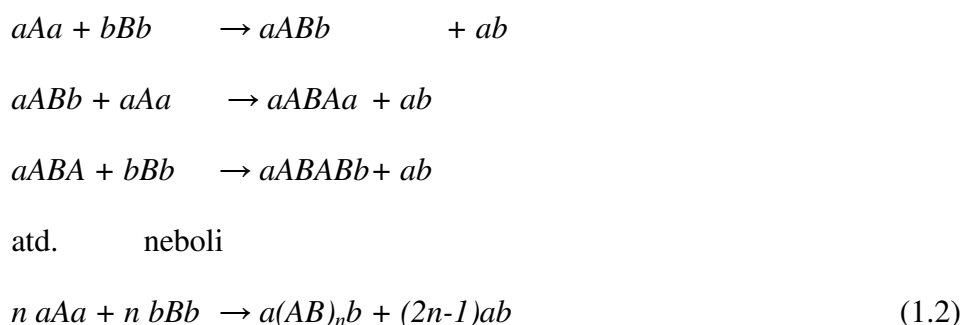
Polymerace se skládá z více částí – ze začátku reakce (iniciace), růstem (propagace) a končením (terminace). Rychlost polymerace je dána jednotlivými částmi těchto dějů.[1]

Aby mohla nastat polymerace, je nutné dodat soustavě určitou aktivační energii, která převádí částice reagující látky do aktivní formy. Aktivační energie může být ve formě tepla, záření anebo se může lehce aktivovat molekuly monomeru, aktivační látkou neboli iniciátorem. Určité části děje, můžeme schématicky vystihnout takto na rovnici č.1.1.[1]



1.7.2 Polykondenzace

Polykondenzace je skupina stejných reakcí funkčních skupin, které se opakují. Aby mohl vzniknout polymer, musí mít výchozí sloučeniny určité množství funkčních skupin a to minimálně dvě funkční skupiny v každé molekule. Za těchto podmínek vzniká lineární polymer. Pro vznik produktů s prostorovou sítí je potřeba, aby výchozí látka měla více jak dvě funkční skupiny v molekule. Schéma polykondenzace je zobrazeno na rovnici č.1.2:[1]



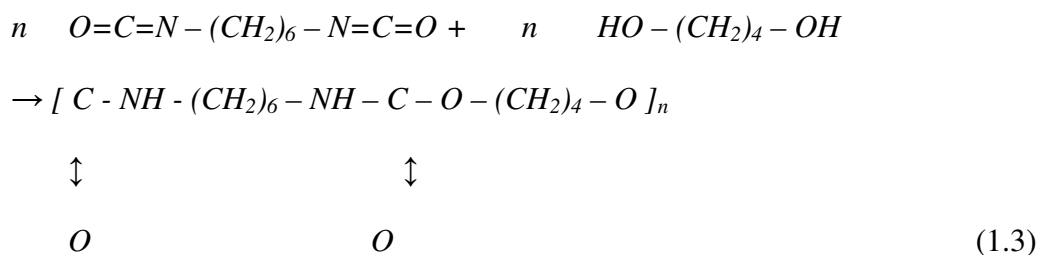
Rozdíl od řetězové polymerace je v tom, že polykondenzace je stupňovitá reakce, při níž se tvoří ze dvou nízkomolekulárních látek jedna nízkomolekulární látka zpravidla voda a polymer.[1]

Dále se liší v tom, že při polykondenzaci je produkt polykondenzát a má odlišné chemické složení než nízkomolekulární látka, ze které vznikl. Kdežto při polymeraci má původní výchozí látka, neboli monomer, stejné chemické složení jako produkt polymer.[1]

Ukázkový příklad je vznik polyesteru pro výrobu *PET* lahví, potřebujeme, aby reakce fenolu s formaldehydu, nám dala kyselinu tereftalovou a pryskyřici známou jako bakelit.[1]

1.7.3 Polyadice

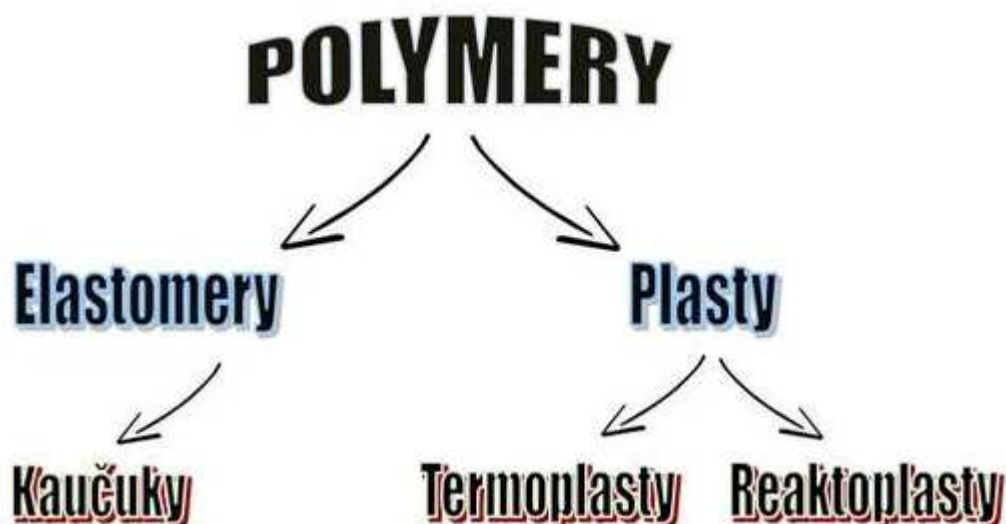
Polyadice vzniká při takové reakci, kdy sloučeniny jsou schopné adiační reakce a ve svých molekulách mají alespoň dvě funkční skupiny. Poté může pomocí stupňovité adiace vzniknout polymer. Molekuly mohou mít kruhy s malým počtem členů nebo mohou obsahovat násobné vazby. Charakteristické schéma polyadice vzniku polyuretanu z diizokyanátů a glykolu můžeme vidět na rovnici č.1.3.[1]



Chemické složení jako u polymerace je, že produkt má stejné složení jako výchozí směs. Liší se pouze tím, že polyadice má odlišnou strukturu výchozí látky od základního článku produktu.[1]

Mohou nastat, ale i jiné pochody, přípravy a výroby polymerů, které nejdu prohlásit za jednu z těchto tří základních reakcí.[1]

2 Rozdělení polymerů



Obrázek 6 Základní rozdělení polymerů

2.1 Elastomery, kaučuky a pryže

Prostorové zesíťování struktury probíhá prostřednictvím tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury. Probíhá zde pouze fyzikální děj, proces tuhnutí a následné měknutí lze opakovat teoreticky bez omezení. Elastomer je vysoce elastický polymer. Lze ho prakticky malou silou deformovat a to bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Největší skupinou elastomerů jsou kaučuky. Z kaučuků se vyrábí pryže, hovorově guma. Důležitou vlastností kaučuku je odolnost proti stárnutí. Kaučuky se dělí na přírodní a syntetické. Přírodní se vyrábí z výtažků z určitých stromů v podobě mízy a syntetické se vyrábí polymerací nebo kopolymerací některých nenasyčených uhlovodíků. Elastomery v automobilovém průmyslu mají široké využití. Používají se hlavně jako tlumicí gumy a hadice. Některé můžeme vidět na obrázku č.7.[4]



Obrázek 7 Silentbloky [5]

2.2 Plasty – Termoplasty, Reaktoplasty

Plasty jsou polymery, které jsou většinou za běžných podmínek tvrdé, mohou být i křehké. Pokud je tento polymer vystaven zvýšené teplotě, je plastický a tvarovatelný. Dále se dělí na dva druhy, termoplasty a reaktoplasty, neboli termosety.[6]

Reaktoplasty při zpracování prochází chemickou reakcí a vzniká hustě prostorově zesíťovaná struktura. V této struktuře jsou původní molekuly pospojovány kovalentními vazbami. Tomuto procesu říkáme vytvrzování. Můžeme tedy říci, že reaktoplast po vytvrzení je dále neroztavitelný. Proto je recyklace těchto polymerů obtížnější. Je možné ho použít v určitém procentu, jako plnivo do termoplastů. Do skupiny reaktoplastů se řadí dříve velice používaný bakelit a různé pryskyřice (epoxidové, fenolytické atd.). Tyto pryskyřice se používají kvůli velice dobré adhezi a jsou odolné vůči vysokým teplotám (nehoří).[6]

Oproti tomu termoplasty jdou opakovaně a neomezeně, za pomoci ohřevu na určitou teplotu převést do taveniny. To znamená, že jsou recyklovatelné. Řadí se sem *PE*, *PP*, *PVC*, *PA*, *ABS*. Termoplasty a reaktoplasty jsou v automobilovém průmyslu velice rozšířené, používají se jako kapotáže, vnitřní oplastování u novějších automobilů i blatníky atd. Kapotáž z termoplastu – *ABS*, můžete vidět na obrázku č.8, *Suzuki DR BIG 800S*. [6]



Obrázek 8 Suzuki DR BIG 800S - kapotáž z reaktoplastu

V následující tabulce č.2 můžeme vidět přehled všech zkratk polymerů.

Tabulka 2 Zkratky polymerů [7]

TERMOPLASTY			
Polyolefiny		Akryláty	
PE	polyetylén	PM	
HDPE	lineární polyetylén	MA	polymethylmetakrylát
LDPE	rozvětvený polyetylén	MBS	metylmetakrylát - butadien - styren
UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	Polyamidy	
PP	polypropylén	PA	polyamid
Chlorované plasty		Polyétery	
PVC	polyvinylchlorid	POM	polyoxymetylén
Styrénové plasty		PFO	polyfenylénoxid
PS	polystyrén	Polyestery	
PS-GP	standartní polystyrén	PET	polyetyléntereftalát
PS-HI	houževnatý polystyrén	PBT	polybutyléntereftalát
PS-E	pěnový polystyrén	PC	polykarbonát
SB	styrén - butadien	Vinylové plasty	
ABS	akrylonitril - butadien - styren	PVAC	polyvinylacetát
SAN	styrén - akrylonitril	Ketony, sulfidy, sulfony a imidy	
ASA	akrylonitril - styren - akrylát	PEE	
Fluoroplasty		K	polyéterketon
PTFE	polytetrafluóretylén	PPS	polyfenylénsulfid
ETFE	etylén - tetrafluóretylén	PSU	polysulfon
REAKTOPLASTY			
Fenoplasty		Epoxidy	
PF	fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
Aminoplasty		Polyesterové pryskyřice	
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice	PES	
MF	melaminové pryskyřice	L	polyesterové skelné lamináty

3 ABS – Akrylonitril-Butadien-styren

Akrylonitrilbutadienstyren vznikl někdy okolo roku 1940. Vznikl přidáním monomeru butadienu do kopolymeru styrenu – akrylonitril (SAN). Tento polymer vznikl díky válečnému výzkumu pro výrobu velkého množství syntetického kaučuku. V roce 1948 bylo ABS patentováno a roku 1954 bylo uvedeno na trh. Dnes, je ABS nejpoužívanějším plastem díky jeho snadnému zpracování.[8]

ABS je většinou složeno z 50% styrenu, 25% butadienu a 25% akrylonitrilu. Styren a akrylonitril zaručují tvrdost, odolnost vůči teplu a chemickou odolnost a butadien zajišťuje odolnost proti nárazu.[8]

Tento polymer má dobrou tuhost a tvrdost v širokém pásmu teplot. Má také vysokou pevnost v tahu. Je pružný, chemicky odolný, jeho povrch je lesklý a relativně levný. Díky těmto vlastnostem má široké využití ve všech odvětvích průmyslu[8].

Pokud do ABS přidáme v určitém poměru nějaké přísady, můžeme dosáhnout ještě lepších vlastností. Těmito přísadami je možné zvýšit houževnatost, tepelnou odolnost a jiné další užitečné vlastnosti. Další přínosnou vlastností je, že ABS je snadno mísitelný s ostatními polymery jako polykarbonát nebo polysulfon.[8]

Soubor těchto všech vlastností nám určuje, na jakou teplotu musíme materiál ohřát, aby šel tvářet, při jaké teplotě by měl chladnout a další jiné teploty. Z praxe víme, že formování při nižších teplotách dává materiálu vyšší pevnost, oproti tomu formování za vyšších teplot zvyšuje tepelnou odolnost a lesk materiálu.[8]

ABS plast je bez jakýchkoliv úprav neprůhledný a má bílou barvu. Takovýto ABS plast v granulátu můžeme vidět na obrázku č.9.[8]



Obrázek 9 Granulát ABS [9]

Tabulka 3 Vlastnosti ABS [10]

Fyzikální vlastnosti	Hodnota/Jednotky
Hustota	883kg/m ³
Absorbce vody	0.0250 - 2.30 %
Vlhkost Absorpce v rovnováze	0.150 - 0.220 %
Absorpce vody při ponoření	0.300 - 1.03 %
Viskozita	255000 - 255000 cP
Maximální obsah vlhkosti	0.0100 - 0.150
Lineární forma smrštění	0.00150 - 0.00800 cm/cm
Lineární forma smrštění- příčně	0.00250 - 0.00900 cm/cm
Tok taveniny	0.0800 - 80.0 g/10 min
Mechanické vlastnosti	Hodnota/Jednotky
Pevnost v tahu, konečná	24.1 - 73.1 MPa
Modul pružnosti	0.778 - 6.10 GPa
Modul pružnosti v ohybu	0.0241 - 6.89 GPa
Izod , s vrubem (ISO)	2.00 - 48.0 kJ/m ²
Charpy, s vrubem	0.500 - 14.0 J/cm ²
Elektrické vlastnosti	Hodnota/Jednotky
elektrický měrný odpor	1.00e+9 - 1.00e+18 ohm-cm
Povrchový odpor	1000 - 2.00e+17 ohm
Dielektrická konstanta	2.60 - 3.50
Izolační pevnost	15.7 - 53.0 kV/mm
Tepelné vlastnosti	Hodnota/Jednotky
Měrná tepelná kapacita	1.96 - 2.13 J/g-°C
Tepelná vodivost	0.128 - 0.200 W/m-K
Maximální provozní teplota	77.0 - 109 °C
Šíření plamene	25.0 - 63.0 mm/min
Optické vlastnosti	Hodnota/Jednotky
Lesk	30.0 - 98.0 %
Vlastnosti při zpracování	Hodnota/Jednotky
Teplota zpracování	177 - 232 °C
Teplota taveniny	149 - 274 °C
Teplota formy	10.0 - 90.0 °C
Vstřikovací rychlosti	200 - 240 mm/sec
Teplota sušení	70.0 - 93.3 °C
Obsah vlhkosti	0.0100 - 0.200 %
Vstřikovací tlak	4.14 - 130 MPa

Tento *ABS* plast můžeme jednoduše obarvit, stačí použít různé barviva a pigmenty. Tento *ABS* plast můžeme také chránit i různými nátěry nebo povlaky. Může být natřen třeba chlórem, lakem nebo akrylem. Tyto *ABS* plasty se i snadno spojují, stačí nějaké lepidlo, nebo epoxid či polyuretan.[8]

ABS je velice rozšířený díky své snadné zpracovatelnosti. Také díky své pevnosti, tuhosti a kvalitě zpracování povrchu ho můžeme najít téměř všude. Věci z toho plastu používáme dnes a denně. Vyrábí se z něj například počítače, mobilní telefony, kuchyňské spotřebiče, kryty akvárií, sportovní potřeby a v neposlední řadě také mnoho komponentů v automobilu, jako jsou nárazníky, kryty zrcátek, palubní desky atd. Využití můžeme vidět na obrázku č.10.[8]

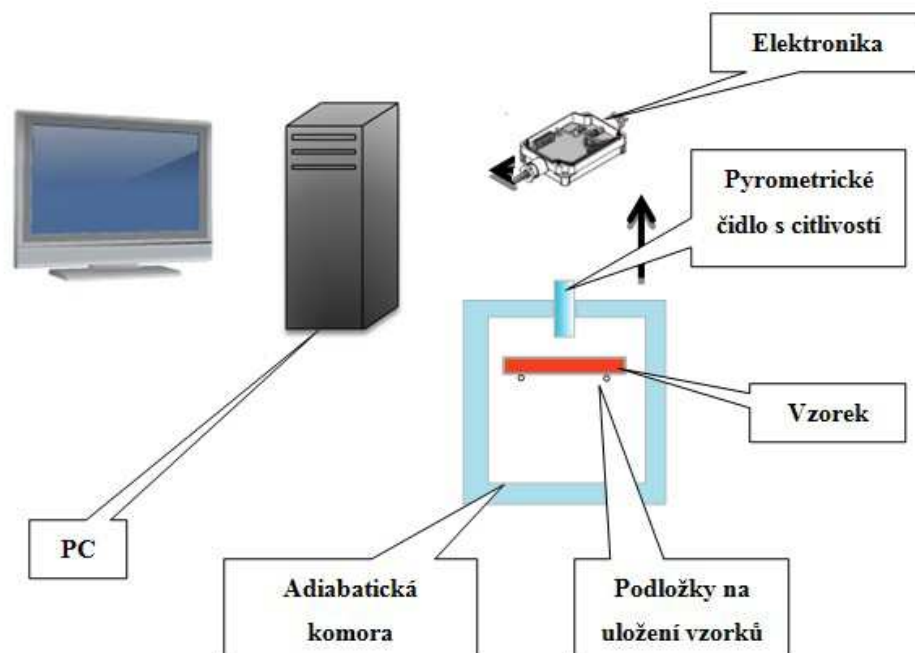


Obrázek 10 Výrobky z *ABS* plastu (radio, tablet, palubní deska atd.) [11]

4 Experimentální část

4.1 Teorie tepelného měření

Údaje o mechanických a tepelných vlastnostech pevných látek jsou důležitým faktorem pro optimalizaci materiálu. V této práci byly použity přístroje na měření tepelných parametrů pevných látek, viz. obrázek č.11. Důležité je stanovit základní tepelné hodnoty jako jsou teplotní vodivost α , tepelná vodivost k a měrná tepelná kapacita c_p . Tyto hodnoty pokrývají široké spektrum experimentálních metod založených na přímých nebo nepřímých měřeních.[12]



Obrázek 11 Schéma měřících přístrojů [13]

Příprava:

Vzorek by měl být co nejtenčí s ohledem na tepelnou vodivost. Platí čím nižší vodivost, tím nižší tloušťka. Proto byl obroušen na kotoučových bruskách *METASINEX* viz. obrázek č.12. Jako chladicí emulze se používá tekoucí studená voda. Na těchto bruskách se používá brusný papír *SIC*. Jemnost tohoto papíru je od 60 do 2500. Pro tento vzorek ABS plastu byl použit nejdříve papír s jemností 600, 800, 1000 a nakonec na úpravu povrchu 1200. Tento papír je na obrázku č.13.[14]



Obrázek 12 Kotoučové brusky



Obrázek 13 Brousící papír SIC

Po přezkoumání zbroušeného povrchu pod mikroskopem, byl povrch nastříkán černou matnou barvou z hlediska emisivity. Emisivita je poměr intenzity, vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa s úplně stejnou teplotou.[14]

Postup měření:

Po zpracování všech dat, byl vzorek vložen do pece a ohřátý na 50°C . Pec můžeme vidět na obrázku č.14. Po určité době asi 5 min , kdy vzorek dosáhl požadované teploty, byl vložen do adiabatické komory, která se následně uzavřela. Adiabatická komora se vyznačuje tím, že je tam stálý tlak. Řešení této komory můžeme vidět na obrázku č.15. V této peci se také nachází pyrometrické čidlo, které je na obrázku č.16. Pyrometr je bezdotykový teploměr, který je schopen měřit teplotu v širokém rozmezí teplot od -50°C do $+3500^{\circ}\text{C}$. [14]

V počítači je nainstalován program pro měření této tepelné vodivosti. Program spustí automatické stahování časových změn teploty vzorku, měříme v rozsahu teplot od 50°C do 30°C . Další vyhodnocení a následná zpracování zaznamená elektronika, která je na obrázku č.17.[14]



Obrázek 14 Pec, váhy, adiabatická komora



Obrázek 15 Konstrukční řešení komory



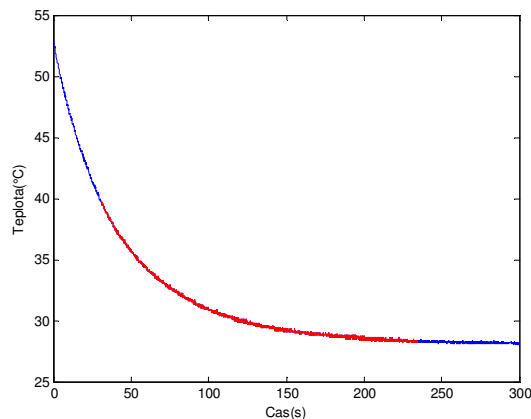
Obrázek 16 Pyrometrické čidlo



Obrázek 17 Elektronika

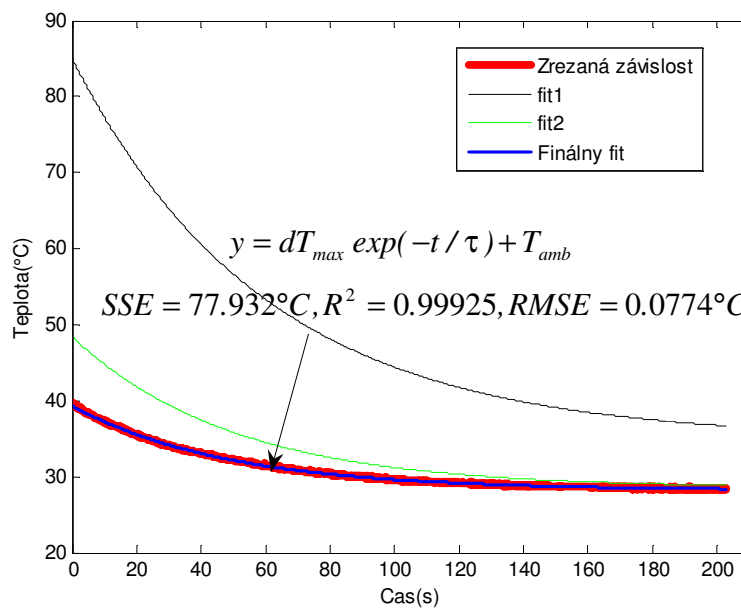
Křivky chlazení

Vytvoření grafu teploty T a proměnlivých časů t_z naměřených hodnot je ve dvou sloupcích. Červená je křivka seřiznutí závislosti teplota - čas na obrázku č.18.[14]



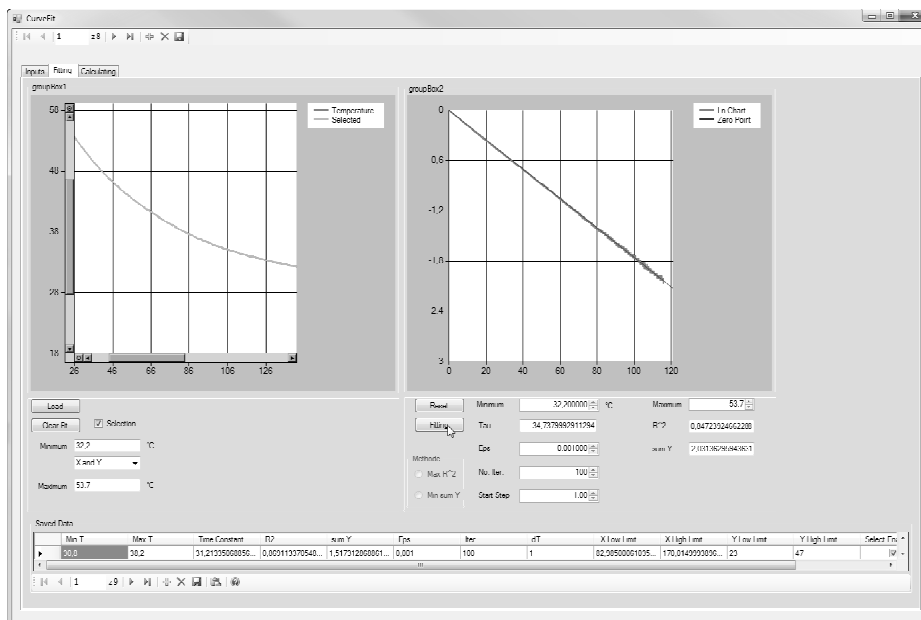
Obrázek 18 Závislost poklesu teploty vzorku na čase [14]

Vyrovnání takové křivky tzv. „fitting procedura“, je schematicky znázorněn na obrázku č. 19.[14]

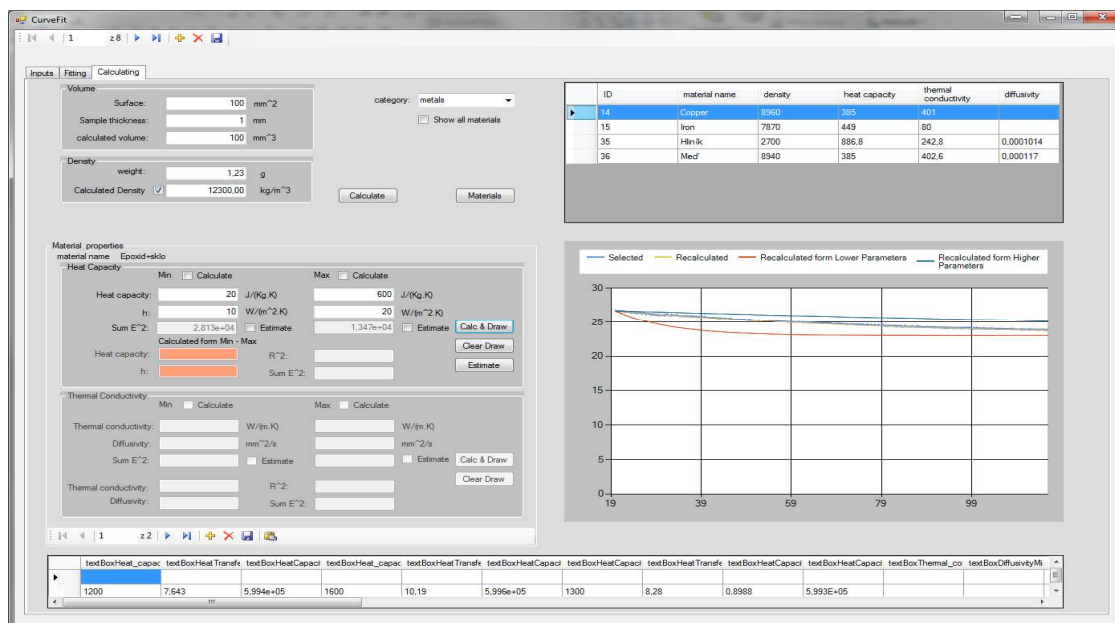


Obrázek 19 Teoreticky fitting procedura [14]

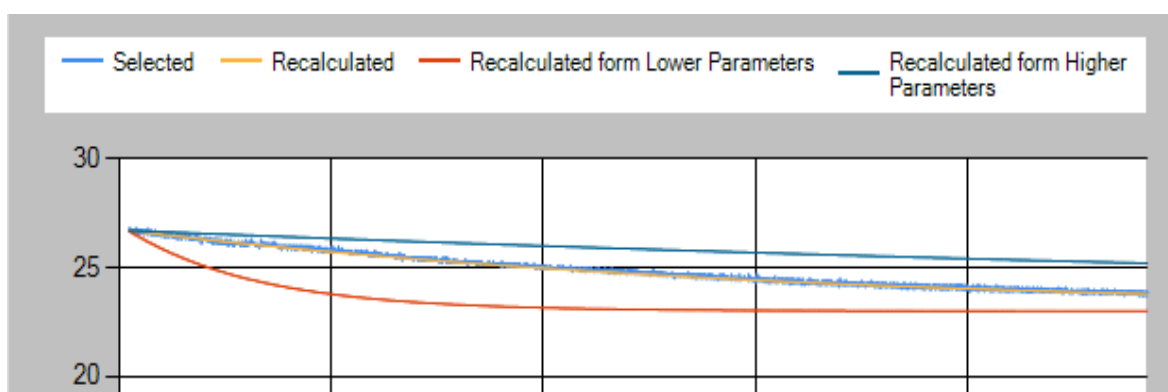
Dále pro názornější představu byl udělán print-screen obrazovky, fitting procedury. Tento print-screen je znázorněn na obrázku č.20. Skutečné zobrazení je na obrázku č.21 a detail na obrázku č.22.



Obrázek 20 Prakticky fitting proces [14]



Obrázek 21 Skutečné zobrazení procesu [14]



Obrázek 22 Detailní pohled [14]

Teorie měření

$$\text{Platí} \quad m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot L \quad (2.1)$$

L – tloušťka vzorku, ρ – hustota vzorku, S – efektivní chladičnou plochu – v tomto případě výpočtu se plocha ochladí z obou stran, proto se musí počítat jako:

$$S = S_{top} + S_{lower} = 2S \quad (2.2)$$

Základní výpočet vychází z diferenciální rovnice:

$$m \cdot c_p \frac{dT}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_{\infty}) \quad (2.3)$$

Tuto rovnici musíme integrovat:

$$\int_0^t \frac{\rho S L c_p dT}{(T - T_{\infty})} = -2h \cdot S \cdot \int_0^t dt \quad (2.4)$$

$$T = [\rho S L c_p \ln(T - T_{\infty})]_0^t = [-2h S t]_0^t \quad (2.5)$$

Když jsme si určili, že:

$$\tau = \frac{\rho \cdot c_p \cdot L}{2 \cdot h_t} \quad h_t - \text{je celkový součinitel postupu tepla} \quad (2.6)$$

tak poté:

$$[(T - T_{\infty})]_0^t = [e^{-t/\tau}]_0^t \quad (2.7)$$

a po úpravě dostáváme konečný vztah pro časovou závislost teploty

$$T = [(T - T_{\infty})]_0^t \cdot \exp(-t / \tau) + T_{\infty} \quad (2.8)$$

Stanovení základních tepelných hodnot α, c_p , ka vztah mezi nimi:

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot c_p \quad (2.9)$$

Platnost tohoto modelu si můžeme ověřit pomocí **Biotova čísla (Bi)**:

$$Bi = \frac{h_t L}{2k} \ll 1 \quad (2.10)$$

kde kombinovaný součinitel přestupu tepla konvekcí h_t , je roven součtu záření koeficientu h_r a součinitele h_c . [15]

Pokud se stane, že teplotní rozdíl, mezi okolím a chladnoucím tělesem je velice malý, mohli bychom poté považovat konstantu prostupu tepla h jako konstantu, která není závislá na teplotě.[15]

Vzorek jsme pomocí posuvného měřidla 10x změřeli a vypočetla se průměrná hodnota podle rovnice č.2.11.
$$\bar{x} = \sum x_i / 10 \quad (2.11)$$

Legenda:

V-objem (mm^3), S-obsah (mm^2), m-hmotnost (g), ρ -hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), τ -čas (s), c_p -měrná tepelná kapacita (J/kgK), k -tepelná vodivost (W/mK), α -teplotní vodivost ($\text{m}^2\cdot\text{s}$), h - ($\text{Jm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{s}^{-1}$), Bi-Biotovo číslo

Tabulka 4 Výpočet rozměrů

Vzorek	a (mm)	b (mm)	L (mm)	S (mm^2)	m (g)	V (mm^3)		
ABS1	9,22	30,36	3,06	279,91	0,89	859,32		
ABS2	9,22	30,36	2,97	279,91	0,89	859,32		
ABS3	9,22	30,36	2,98	279,91	0,89	859,32		
ABS4	9,22	30,36	3,07	279,91	0,89	859,32		
ABS5	9,22	30,36	3,03	279,91	0,89	859,32		
ABS výbrus	30,16	9,39	1,64	283,20	0,40	464,45		
	ρ (kgm^{-3})	τ (s)	c_p (J/kgK)	k (W/mK)	α ($\text{m}^2\cdot\text{s}$)	h ($\text{Jm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{s}^{-1}$)	$Bi=hL/2k$	
ABS1	1039	130,55	1354	0,19	1,40E-07	16,50	0,13	
ABS2	1052	130,55	1300	0,18	1,31E-07	16,10	0,13	
ABS3	1066	184,61	1400	0,18	1,26E-07	16,20	0,13	
ABS4	1033	148,16	1380	0,19	1,37E-07	16,50	0,13	
ABS5	1047	167,26	1605	0,19	1,15E-07	15,24	0,12	
ABS výbrus	1038	72,20	1622	0,14	1,03E-07	15,25	0,09	

V této části se budeme věnovat vyhodnocení měření tepelné kapacity za konstantního tlaku, tepelné vodivosti, teplotní vodivosti a Biotova čísla. V tabulce č.4 můžeme vidět hodnoty šesti uvedených tepelných parametrů. Z tabulky je vidět, že hodnoty Biotova čísla jsou u prvních pěti hodnot vysoké, pohybují se okolo 0,130. Průměrná hodnota Biotova čísla je $Bi = 0,12$, což je hodnota relativně vysoká, protože teoreticky uvedený vzorec podle kterého jsme měřili, vyžaduje, aby hodnota $Bi < 0,1$. Z toho můžeme předpokládat, že i hodnoty měrné tepelné kapacity $C_p(\text{J/kgK})$, teplotní vodivosti α ($\text{m}^2\cdot\text{s}$), tepelné vodivosti k (W/mK) nebudou zcela korektní i když je třeba připomenout, že jsou v rozsahu hodnot s porovnáním tabulky č.3.

Biotovo číslo se počítá podle rovnice (2.10). V této rovnici jde změnit pouze tloušťka vzorku L (mm). Proto, abychom dosáhli nižší hodnoty Biotova čísla, jsme vzorek zbrousili z původních cca $L = 3,00\text{mm}$ na zhruba polovinu $L = 1,64\text{mm}$. Tím pádem jsme pro zbroušený vzorek dostali hodnoty $C_p = 1622 \text{ (J/kgK)}$, $\alpha = 0,1 \text{ (m}^2\text{s)}$, $k = 1,03 \times 10^7 \text{ (W/mK)}$ a $h = 15,25 \text{ (Jm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$. A následně nám klesla i hodnota Biotova čísla $Bi = 0,09$, čímž splňujeme podmínku $Bi < 0,1$. Můžeme tedy předpokládat, že přesnější hodnoty tepelných parametrů jsou z měření, kde byl vzorek vybroušen.

4.2 Mechanické zkoušky

Mechanické zkoušky slouží k zjišťování chování materiálu za působení vnějších sil. Zjišťujeme takzvané mechanické vlastnosti materiálu. Mechanické vlastnosti se dělí do dvou částí. První je odpor proti deformaci, zjistíme tak tvrdost, mez kluzu, mez tečení atd. Druhá sděluje jeho deformační schopnost jako je třeba tažnost atd.[16]

Tvárný materiál je materiál, který odolává velkým deformacím před vznikem lomu. Pevný materiál je ten, který klade velký odpor proti deformaci. Dohromady, pevný a tvárný materiál nám dává houževnatý materiál, který k přetváření potřebuje velké množství práce. Opakem tohoto materiálu, je materiál křehký, u něhož k lomu předchází malé deformace.[16]

Mechanické zkoušky se rozdělují tím, jak působí síla na zkušební těleso:

1. Statické zkoušky – pomocí rovnoměrného zatížení na zkušební těleso
2. Dynamické zkoušky – pomocí působení síly nárazem (ve zlomkách sekundy),

Dále se zkoušky dělí podle teploty, při které zkoušku provádíme:

1. zkouška za nízkých teplot
2. zkouška za normálních teplot
3. zkouška za vysokých teplot [16]

4.2.1 Tahová zkouška pro plasty

Tahová zkouška je jedna ze základních a nejpoužívanějších zkoušek na zjišťování mechanických vlastností, které dále potřebujeme k vyhodnocení materiálu. Jsou to důležité parametry pro určení jakosti povrchu, pro určení vhodnosti materiálu a konstrukční výpočet. Zkouška tahem bude vyhodnocena podle normy ČSN EN ISO 527-1.[17]

Zkouška je založena na deformaci zkušební tyče tahovým zatížením, obvykle do přetržení pro stanovení jedné nebo více mechanických vlastností zavedených v normě. Nejčastěji se zkouška provádí při okolní teplotě od 10°C do 35°C . [17]

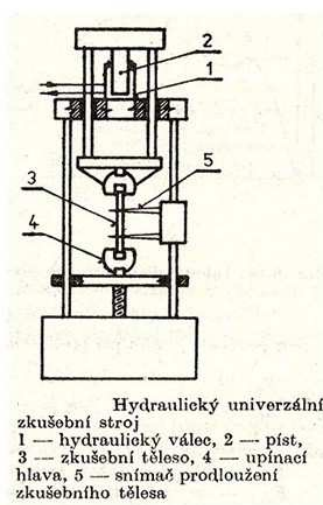
Zkušební tyče:

Zkušební tyč je obvykle vyrobena vstříknutím tekutého plastu do formy. Tento zkušební vzorek určitých rozměrů, můžeme vidět na obrázku č.23. Zkušební vzorky by měly být upnuty do speciálního zkušebního stroje pro měření pevnosti v tahu pro plasty. Upínají se pomocí závitových a hydraulických čelisti, nebo pomocí klínů. Toto upnutí je důležité z hlediska toho, aby zatížení působilo pokud možno pouze v ose zatěžování. [17]



Obrázek 23 Vzorky ABS plastu po tahové zkoušce

Hlavní části hydraulického trhacího stroje můžeme vidět na obrázku č.24.



Obrázek 24 Schéma univerzálního trhacího stroje [16]

Pro tohle měření byl použit trhací stroj s hydraulickými čelistmi. Typ stroj *LFV 100*, který může vyvinout zatížení až *100kN*. Tento trhací stroj můžeme vidět na obrázku č.25 a 26.[16]

Jak vidíme na obrázku č. 25, v levé části, trhací stroj má pohyblivou horní část. Pomocí imbusového klíče se uvolnila horní pohyblivá část a nastavila se zhruba velikost vzorku tj. *250mm* od dolní části. Poté bylo sevření čelistí ovládáno hydraulicky pomocí počítače a jednoduchého ovladače na sevření a otevření čelistí.[16]



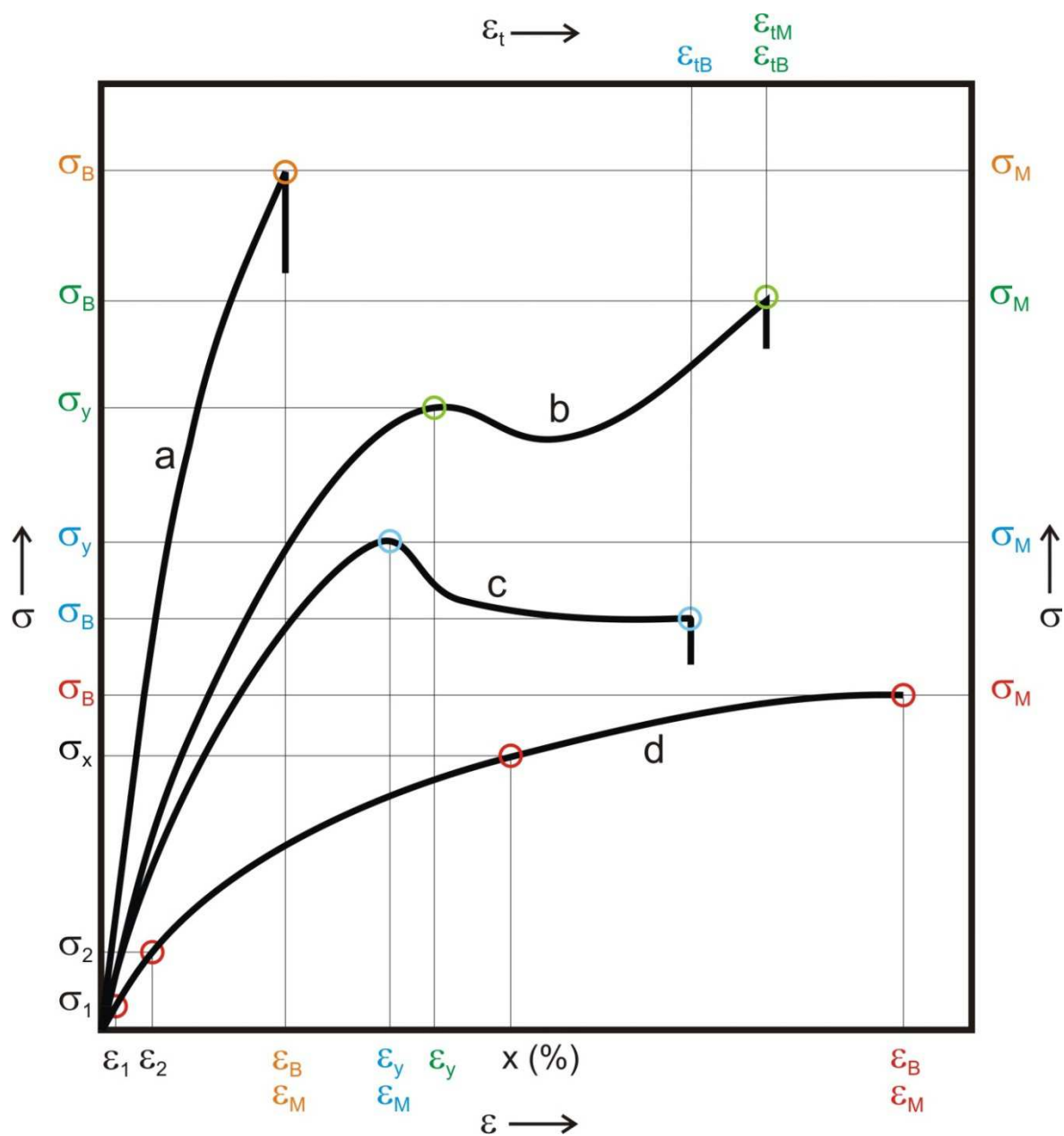
Obrázek 25 Název stroje



Obrázek 26 Čelisti trhacího stroje

Vzorek má určitou velikost, v tomto případě to bylo 250mm , z toho $l_o = 150\text{mm}$ byla měřená plocha vzorku. To znamená, že bylo upnuto v každé čelisti 50mm .

Výpočet tahové zkoušky:



Obrázek 27 Příklady tahových testů [17]

Na obrázku č.27 jsou různé typy tahových diagramů.

Křivka - a křehké materiály

Křivka - b, c houževnaté materiály s mezí kluzu

Křivka - d houževnaté materiály bez meze kluzu

Tento zkušební vzorek je pod křivkou „c“ a spadá do materiálu houževnatých s mezí kluzu. Potřebujeme tedy vypočítat:[17]

Pro výpočet modulu pružnosti v tahu E_t jsou výchozí body $(\sigma_1, \varepsilon_1)$ a $(\sigma_2, \varepsilon_2)$ pro

$$\varepsilon_1 = 0,0005 \text{ a } \varepsilon_2 = 0,0025.$$

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

E_t modul pružnosti v tahu v MPa (2.12)

σ_1 napětí v MPa naměřené při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_1=0,0005$

σ_2 napětí v MPa naměřené při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_2=0,0025$

σ_y napětí na mezi kluzu v MPa

První hodnota napětí, při kterém dochází ke zvyšování protažení bez zvyšování napětí (křivka b, obr.27).

σ_B napětí v tahu při přetržení v MPa

Napětí v tahu, při kterém dochází k přetržení zkušební tělesa.

σ_M mez pevnosti v tahu v MPa

Maximální napětí v tahu působící na zkušební těleso během zkoušky.

ε_y poměrné prodloužení na mezi kluzu (bezrozměrné nebo v %)

Poměrné prodloužení odpovídající napětí na mezi kluzu (křivka b, c)..

ε_{tB} jmenovité poměrné prodloužení při přetržení (bezrozměrné nebo v %)

Jmenovité poměrné prodloužení odpovídající napětí při přetržení, dochází-li k přetržení zkušební tělesa za mezí kluzu (křivka b, c)[17].

Pro vyhodnocení zkušební protokolu, bylo potřeba zadat do programu průměrnou tloušťku a šířku vzorku. Tyto hodnoty byly změřeny digitálním posuvným měřidlem. Tyto rozměry můžeme najít v tabulce č.5. Celkově byly provedeny čtyři měření.[17]

Tabulka 5 Rozměry zkušebního vzorku v tahové zkoušce

	Průměr (mm)			
ABS 1 - Tloušťka (mm)	2,94	2,94	3,02	2,96
ABS 2 - Tloušťka (mm)	2,99	2,97	3,03	2,99
ABS 3 - Tloušťka (mm)	2,99	3,01	3,00	3,00
ABS 4 - Tloušťka (mm)	2,96	2,95	2,99	2,96
ABS 1 - Šířka (mm)	20,04	20,00	20,05	20,03
ABS 2- Šířka (mm)	20,10	19,99	19,81	19,96
ABS 3 - Šířka (mm)	20,11	20,29	20,23	20,21
ABS 4 - Šířka (mm)	20,21	20,02	20,18	20,13

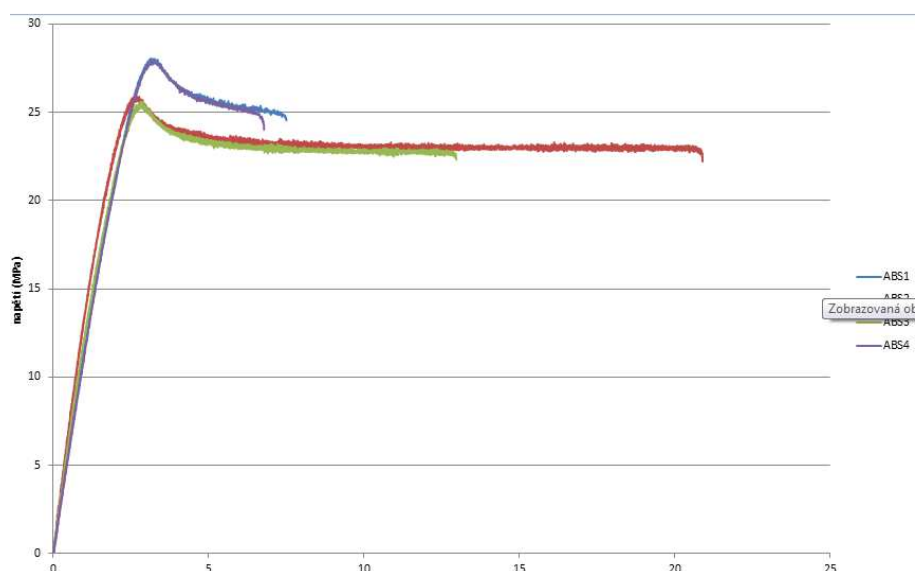
Z naměřených hodnot byl dále vypočten modul pružnosti v tahu, viz rovnice č.2.12, napětí na mezi kluzu a mez pevnosti v tahu jsou stejná, je to první hodnota napětí, při které dochází ke zvyšování protažení bez zvyšování napětí. Dále byla vypočtena napětí v tahu při přetržení, poměrné prodloužení na mezi kluzu a jmenovité poměrné prodloužení při přetržení. Následně byly tyto hodnoty zprůměrovány a byla vypočtena směrodatná odchylka viz rovnice č.2.13. Vypočtené hodnoty jsou v tabulce č.6.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(\bar{d}-d)^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (2.13)$$

Tabulka 6 Vypočtené hodnoty pevnosti v tahu [17]

L ₀ = 150 mm	ABS1	ABS2	ABS3	ABS4	průměr	sm.od.
ε _y (-), ε _M	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
ε _{tB} (-)	0,05	0,13	0,08	0,04	0,08	0,02
mez pevnosti v tahu σ _M (MPa)	28,05	25,95	25,62	27,87	26,88	0,63
mez kluzu σ _y (MPa)	28,05	25,95	25,62	27,87	26,88	0,63
napětí v tahu při přetržení σ _B (MPa)	24,55	22,20	22,32	24,02	23,28	0,59
modul pružnosti E (MPa)	1803,2 0	2201,1 1	2058,8 1	1727,4 5	1947,65	110,2 8

Při měření vzorku ABS1 byla na počítači nastavena rychlost tažení materiálu 2 mm/min. Ze začátku je to lepší z hlediska stanovení modulu pružnosti v tahu E [MPa]. Po překročení vzorku 2 mm byla rychlost nastavena na 10 mm/mm. Takto byl měřen i vzorek ABS4. Vzorky ABS2 a ABS3 byly měřeny po celou dobu s rychlostí 2 mm/min.[17]



Obrázek 28 Vyhodnocení hodnot do grafu - křivka mez pevnosti v tahu pro ABS

Navzdory tomu, že tento trhací stroj není konstruovaný na zkoušení plastů, porovnáním této tabulky č.6, s technickým listem, bylo zjištěno, že materiál je vyroben z kvalitního granulátu a odpovídá normám ze zkušebny. Můžeme tedy tento materiál použít na námi zvolený výrobek.

4.2.2 Ohybová zkouška pro plasty

Podstatou této zkoušky je zatěžování zkušebního tělesa, volně podepřeného dvěma podpěrami a příčným trnem uprostřed. Tento ohyb se nazývá tříbodový, a provádí se na klasickém trhacím stroji za pomoci přípravků, které můžeme vidět na obrázku č.29. Těleso je zatěžováno konstantní rychlostí, dokud se těleso nezlomí, nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. V našem případě byla rychlost zatěžování 2mm/min. [18]



Obrázek 29 Trhací stroj s pomocnými přípravky na ohyb



Obrázek 30 Probíhající ohybová zkouška

Uspořádání podpěr je dle obrázku č.30. Poloměr trnu R_1 a poloměr podpěr R_2 musí být:

$$R_1 = 5,0 \pm 0,1 \text{ mm},$$

$$R_2 = 5,0 \pm 0,1 \text{ mm}$$

Rozpětí podpěr L se nastaví podle vztahu $L = (16 \pm 1)h$. V našem případě všechny zkušební vzorky měly: $L = 32 \text{ mm}$. [18]

Výpočet napětí v ohybu:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Výpočet deformace ohybem:

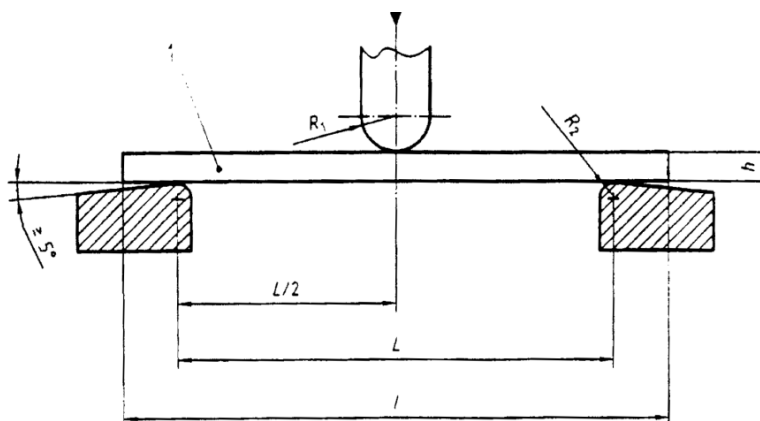
(2.14)

$$\varepsilon_f = \frac{3sh}{L^2},$$

(2.15)

kde σ_f – napětí v ohybu (MPa), F – použitá síla (N), L – rozpětí podpěr (mm), b – šířka zkušebního tělesa (mm), h – tloušťka zkušebního tělesa (mm), ε_f – deformace ohybem (-, %), s – průhyb (mm). [18]

Průhyb je vzdálenost, o kterou se během ohybu vychýlí horní nebo spodní plocha zkušebního tělesa uprostřed rozpětí podpěr ze své původní polohy. [18]



Legenda

1 Zkušební těleso

F Použitá síla

R_1 Poloměr zatěžovacího trnu

R_2 Poloměr podpěr

h Tloušťka zkušebního tělesa

l Délka zkušebního tělesa

L Rozpětí mezi podpěrami

Obrázek 31 Poloha zkušebního vzorku na začátku zkoušky [18]

Výpočet ohybové zkoušky:

Nejprve je důležité změřit zkušební vzorek a poté zprůměrovat hodnoty. Tyto hodnoty v tabulce č.7 jsou potřeba zadat do počítačového softwaru trhacího stoje.[18]

Tabulka 7 Rozměry zkušební vzorku pro ohybovou zkoušku

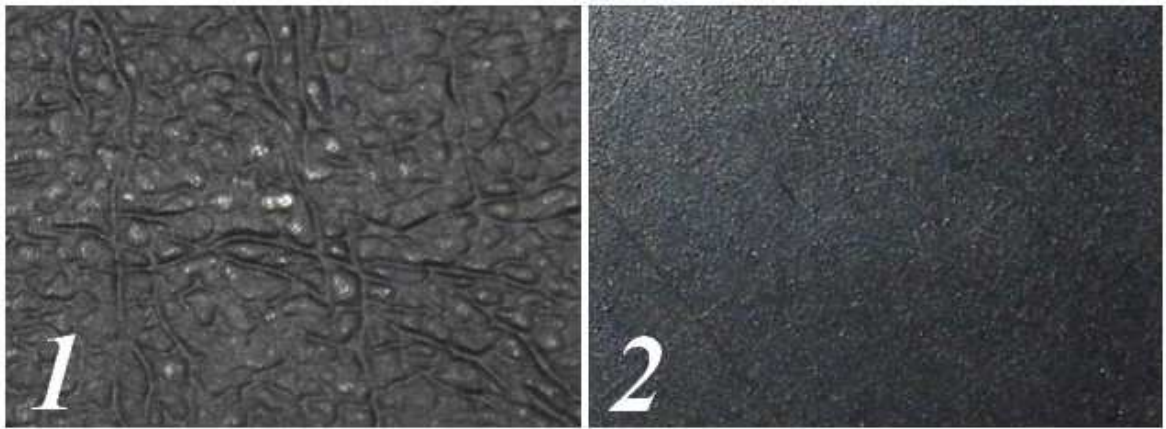
	Průměr (mm)			
ABS 1 - Tloušťka (mm)	2,90	2,96	2,94	2,93
ABS 2 - Tloušťka (mm)	2,94	3,01	2,99	2,98
ABS 3 - Tloušťka (mm)	2,98	2,99	2,97	2,98
ABS 4 - Tloušťka (mm)	2,98	2,99	3,00	2,99
ABS 5 - Tloušťka (mm)	3,02	2,97	2,94	2,97
ABS 1 - Šířka (mm)	10,14	10,21	10,40	10,25
ABS 2 - Šířka (mm)	10,30	9,86	9,92	10,02
ABS 3 - Šířka (mm)	10,23	10,34	10,02	10,19
ABS 4 - Šířka (mm)	10,20	9,47	9,87	9,84
ABS 5 - Šířka (mm)	10,06	10,08	10,01	10,05

Z naměřených hodnot byla dále vypočtena mez pevnosti v ohybu s_{fM} (MPa), to je nejvyšší napětí, které zkušební těleso snese během zkoušky ohybem. Dále byl vypočten smluvní průhyb s_c (mm), to je průhyb rovnající se 1,5 násobku tloušťky zkušební tělesa a napětí v ohybu při smluvním průhybu s_{fC} (MPa). Tyto hodnoty nalezneme v tabulce č.8.[18]

Napětí v ohybu v okamžiku lomu s_{fB} (MPa) nebylo možné změřit, jelikož vzorek se ani v jednom případě nezlomil.[18]

Tabulka 8 Vypočtené hodnoty z ohybové zkoušky

	ABS1	ABS2	ABS3	ABS4	ABS5	Průměr	sm. Odch.
mez pevnosti v ohybu s_{fM} (MPa)	55,00	58,00	55,00	60,00	67,00	59,00	1,45
smluvní průhyb s_c	4,43	4,47	4,47	4,49	4,46	4,464	0,01
napětí v ohybu při smluvním průhybu s_{fC} (MPa)	47,00	42,00	45,00	48,00	41,00	44,60	1,36

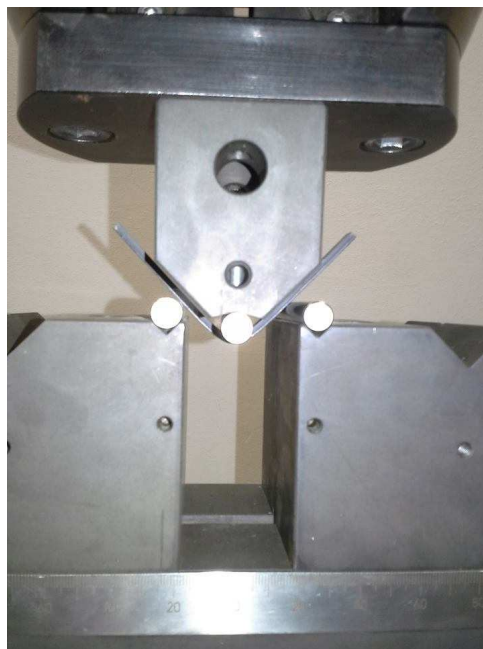


Obrázek 32 Vzorová vrstva

Na obrázku č.32 můžeme vidět vzorovou vrstvu zkoušeného vzorku. Vzorová vrstva č.2 byla u vzorku *ABS1*, 2, 3, vložena na přípravek směrem vzhůru. Vzorek *ABS1* byl předzatížen rychlostí 5mm/min a po dosažení 15MPa byla rychlost 2mm/min . Další vzorky *ABS2* a *ABS3* byly bez před zatížení s rychlosti zatěžování po celou dobu 2mm/min .

Díky tomu, že vzorová vrstva č.1 byla dole, jsme u těchto vzorků pozorovali, že vrypy na této vrstvě mohou vést k trhlinám v materiálu. V tomto případě byl vzorek ohnut do úhlu 90° , vzorek se díky svým pružným vlastnostem vrátil do úhlu 120° .

Oproti tomu, pokud byla vzorová vrstva č.1 nahoře, u vzorků *ABS4* a *ABS5*, se zkušební vzorek po zatížení do úhlu 90° vrátil do téměř původní polohy, zhruba do úhlu 160° . Zkušební vzorek ani v jednom případě nepraskl. Tento zkušební trhací stroj není konstruován na měření plastů. Vše můžeme vidět na obrázku č.33 a č.34.

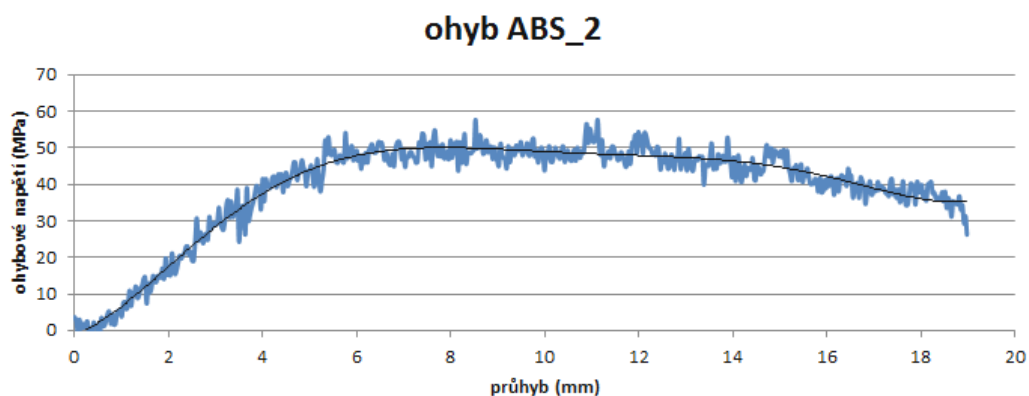


Obrázek 33 Ohybová zkouška po dosažení 90°

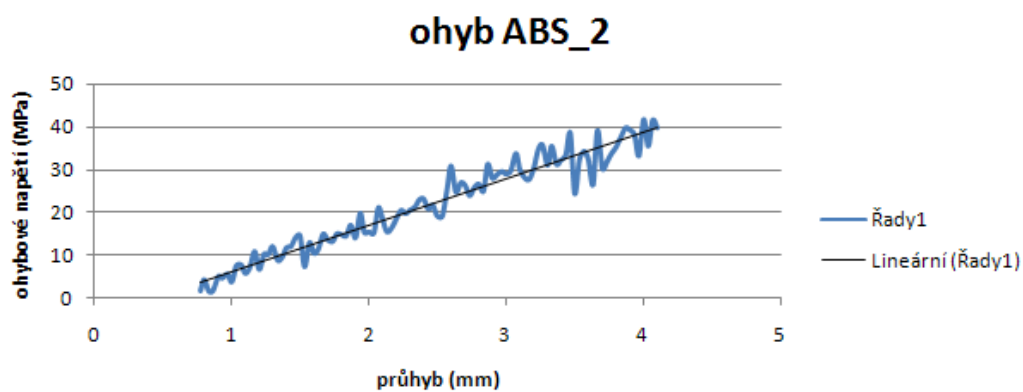


Obrázek 34 Zkušební vzorek s úhlem téměř 160°

Výsledný graf ohybové zkoušky můžeme vidět na obrázku č.35.



Obrázek 35 Graf ohybové zkouška pro ABS2

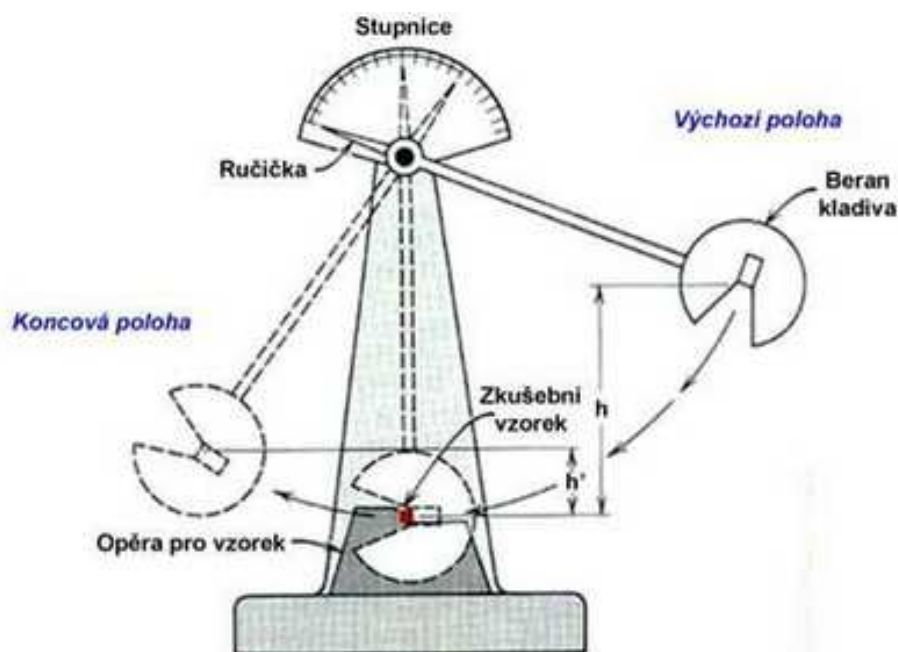


Obrázek36 Detail grafu ohybové zkoušky ABS2

Na obrázku č.36 můžeme vidět detail grafu z obrázku č.35. Na tomto obrázku je pouze lineární část grafu. Z této části je možné vypočítat modul pružnosti v ohybu pomocí rovnice (2.12). Modul pružnosti v ohybu vyšel $E = 11 \text{ GPa}$. Tato hodnota již přesahuje povolenou mez dle tabulky č.3, která je $6,89 \text{ GPa}$. Při vyhodnocování tahové zkoušky modul pružnosti vyšel okolo 2 GPa a při ohybové zkoušce vyšel 11 GPa . Tyto hodnoty se od sebe mohou lišit z důvodu toho, že při upínání do čelistí při tahové zkoušce se mohl porušit zkušební vzorek.

4.2.3 Zkouška rázem v ohybu pro plasty

Tato zkouška se provádí na zhodnocení houževnatosti materiálu. Principem této zkoušky je přeražení zkušební vzorku s vrubem, pomocí kyvadlového kladiva jedním rázem za předem definovaných podmínek. Vrub ve zkušebním vzorku musí být uprostřed na protilehlé straně k místu úderu při zkoušce a musí mít určitý rozměr dle ČSN EN ISO 179-1. Měří se, kolik práce nebo energie je potřeba k porušení zkušební vzorku. Schéma měřicího stroje Charpyho kladiva můžeme vidět na obrázku č.37.[19]



Obrázek 37 Charpyho kladivo[20]

Měření se provádělo na třech zkušebních vzorcích. Průměrná šířka vzorku = 2,92 mm, průměrná tloušťka vzorku = 8,62 mm, průměrná délka vzorku = 125 mm. [19]

Naměřené hodnoty jsou zaznamenány do tabulky č.9.

Tabulka 9 Výsledky měření dle Charpyho

VÝSLEDKY	KJ/m ²
Vzorek 1	5,25
Vzorek 2	5,10
Vzorek 3	5,33
Průměr	5,23
Průměrná střední odchylka	0,11

Tyto výsledky odpovídají hodnotám v tabulce č.3. Je tedy možné říci, že zkušební vzorek odpovídá technickému listu ze strany č.52.

Závěr

Závěrem můžeme zkonstatovat, že cíle bakalářské práce byly naplněny následovně.

Byla vypracovaná literární rešerše, která se skládá z 20 zdrojů.

Byl zpracovaný přehled hlavních strukturních parametrů polymerů se zaměřením na ABS, dále bylo popsáno měření tepelných parametrů, mechanických parametrů a zkouška rázem v ohybu dle Charpyho. měření mechanických vlastností polymeru, měření tepelných vlastností pevných látek a analýza naměřených dat a jejich zhodnocení. Na konci těchto měření byly zhodnoceny výsledky z jednotlivých měření, které ukázaly, že všechny jsou v rámci rozsahu uvedených v tabulkách. Podle našeho názoru cíle bakalářské práce byly splněny.

Seznam literatury

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011, 276 s. ISBN 978-807-0807-880.
- [2] VESELÝ, Karel. *Polymery: Struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování*. Brno: ČSPCH, 1992, 177 s. ISBN 80-020-0951-7.
- [3] LAZÁR, Milan - MIKULÁŠOVÁ, Darina. *Syntéza a vlastnosti makromolekulách látok*. Bratislava : Alfa, 1977. 333 s. Edícia chemickej literatúry.
- [4] *Physik der Kunststoffe: eine Einführung in das physikalische Verhalten makromolekularer Substanzen*. Editor Werner Holzmüller, Kurt Altenburg. Berlin: Akademie-Verlag, 1961, xvi, 652 s.
- [5] HARTMAN, Jeff. *How to tune and modify: Engine management systems*. 1st edition. England: Motorbooks, 2003. ISBN 13:978-0-7603-1582-8.
- [6] Meissner B., Zilvar V. *Fyzika polymerů - struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. SNTL/ALFA, Praha, 1987. ISBN 04-634-87.
- [7] FERRY, John D. *Viscoelastic properties of polymers*. 3rd ed. New York: John Wiley, 1980, 641 s. ISBN 04-710-4894-1.
- [8] Tiefziehen. *Tiefziehen* [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/ABS/>
- [9] Smart Print. *Smart Print Filament* [online]. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: https://www.filament-3d-printer.de/shop/product_info.php?products_id=26
- [10] MatWeb. *MatWeb* [online]. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=eb7a78f5948d481c9493a67f0d089646>
- [11] Nexus. *Nexus-7* [online]. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.nexus-7.cz/brodit-drzak/>
- [12] Ezzahri, Y., Dilhaire, S., Grauby, S., Rampnoux, J. M., Claeys, W., Zhang, Y., Zeng, G., Shakouri, A. (2005). *Study of thermo mechanical properties of Si/SiGe superlattices using femtosecond transient thermoreflectance technique*. Applied Physics Letters, 87,(10).

- [13] Košťál, P., Ružiak, I., Jonšta, Z., Kopal, I., Hrehuš, R., Kršková, J. (2010). *Experimental Method for Complex Thermo-mechanical Material Analysis*. Int. J. of Thermophysics, 31, (3), 630-636.
- [14] Košťál, P., Ružiak, I., Jančíková, Z. (2012), Patent NO 303269 CS.
- [15] Parker, W. J., Jenkins, R. J., Butler, C. P., Abbott, G. L. (1961). *Flash method of determination thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity*. Journal of applied physics, 32, (9), 1679-&.
- [16] MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření: učebnice pro 3. ročník stř. prům. škol strojnických*. 1. vyd. Překlad Jindřich Klůna. Praha: SNTL, 1989, 214 s. ISBN 80-030-0103-X.
- [17] ČSN EN ISO 527-1. *Tahová zkouška pro plasty*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [18] ČSN EN 12814-1. *Ohybová zkouška pro plasty*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [19] ČSN EN ISO 179-1. *Stanovení rázové houževnatosti metorou Charpy*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [20] Nůž-nože. *Nůž-nože* [online]. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.noze-nuz.com/recenze/vlastnosti-damasku/vlastnosti-damasku.php>

Přílohy

Sales department
Tel : 03 20 01 05 32
Fax : 03 20 28 78 26
e-mail : ventes@gallooplastics.eu



Commercial Department
Tel : 03 20 01 05 34
Fax : 03 20 28 78 26
e-mail : commercial@gallooplastics.eu

TECHNICAL DATA SHEET

GPABS 457 Compound of black ABS

Properties	Standards	Unit	Value mini	Average	Value maxi
Physical & chemical properties					
Melt flow index (220°C/10Kg)	ISO 1133	g/10mn	40		50
Density*	Interne	-	-	-	-
Mechanical & thermal properties					
Flexural modulus ✓	ISO 178	Mpa	2000		-
Tensile stress at break* ✓	ISO 527	Mpa	30	-	-
Tensile strain at break* ✓	ISO 527	Mpa	7	-	-
IZOD impact (Notched) 23°C ✓	ISO 180	KJ/m2	5	-	-


* values measured for information, not being a part of systematic quality control test

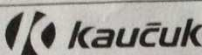
Packaging : Bags of 25Kg on pallet
Octagonal container or big bag of 1200Kg
Tank of 25 tons

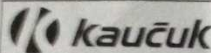
V. Hauspied

This document belongs to Galloo Plastics,
it cannot be used without agreement.

Version du 27/01/2012

		BEZPEČNOSTNÍ LIST		zpracovaný podle zákona 356/2003 Sb. v platném znění	
Datum vydání: 12/1999		FORSAN [®]		Strana 1 ze 3	
Datum revize: 01/2006					
Název výrobku:		Typy : 449, 548, 846			
1.	Identifikace látky nebo přípravku a výrobce nebo dovozce				
1.1	Identifikace látky nebo přípravku: Chemický název / obchodní název látky: ABS polymer, kopolymer akrylonitrilu butadienu a styrenu / FORSAN 449, FORSAN 548, FORSAN 846				
1.2	Použití látky nebo přípravku: Granuláty jsou určeny pro zpracování technologiemi: vstřikování a vytlačování				
1.3	Identifikace výrobce nebo dovozce: Jméno nebo obchodní jméno: KAUČUK, a.s. Místo podnikání nebo sídlo: Kralupy nad Vltavou, 278 52, Česká republika Identifikační číslo: 25053272 Telefon: ústředna +420-315 711 111, obchodní oddělení +420-315 713 197, +420-315 714 750 Fax: +420-315 713 820				
1.4.	Telefonní čísla pro mimořádné situace: Nouzové telefonní číslo KAUČUK, a.s. : dispečink : tel. +420-315 727 085, +420-315 713 041 Nouzové telefonní číslo v ČR: Toxikologické informační středisko, Na Bojišti I, 128 08 Praha 2, tel. 24 hodin/den: +420-224 919 293, +420-224 915 402, fax: +420-224 914 570				
2.	Informace o složení látky nebo přípravku Chemický název: ABS polymer, kopolymer akrylonitrilu, butadienu a styrenu Obsah v (%): 100 Klasifikace: není; Výstražný symbol nebezpečnosti: není; R - věty: nejsou; S - věty: nejsou Číslo CAS: 9003-56-9; Číslo ES (EINECS): není, Indexové číslo: není Další názvy: nejsou				
3.	Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku Látka není klasifikována jako nebezpečná podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění				
3.1	Klasifikace: není				
3.2	Nejzávažnější nepříznivé účinky na zdraví člověka: nejsou				
3.3	Nejzávažnější nepříznivé účinky na životní prostředí: nejsou				
3.4	Možné nesprávné použití látky: nezahřívát výrobek nad povolenou teplotu (viz bod 10)				
4.	Pokyny pro první pomoc				
4.1	Všeobecné pokyny: v případě granulí (pelet) nejsou zvláštní požadavky				
4.2	Při nadýchání: Nepřichází v úvahu, je však třeba zabránit nadýchání par při zpracování výrobku. Úplně postačí účinné větrání.				
4.3	Při styku s kůží: Při styku kůže s taveninou okamžitě omýt studenou vodou, v případě popálenin konzultace s lékařem.				
4.4	Při zasažení očí: vypláchnout větším množstvím vody				
4.5	Při požití: není pravděpodobné				
5.	Opatření pro hasební zásah				
5.1	Vhodná hasiva: vysokotlaká mlha, proud vody, hasicí prášek (ABC), oxid uhličitý, pěna				
5.2	Nevhodná hasiva: nejsou				
5.3	Zvláštní nebezpečí: při hoření ABS-polymerů vzniká velké množství dýmu a dochází ke vzniku smrtelně jedovatého kyanovodíku				
5.4	Zvláštní ochranné pomůcky pro hasiče: izolační dýchací přístroj + úplný ochranný oblek				
6.	Opatření v případě náhodného úniku látky nebo přípravku				
6.1	Preventivní opatření na ochranu osob: vzhledem k charakteru výrobku nejsou nutná žádná opatření				
6.2	Preventivní opatření na ochranu životního prostředí: vzhledem k charakteru výrobku nejsou nutná žádná opatření				
6.3	Čistící metody: mechanicky odstranit				
7.	Pokyny pro zacházení s látkou nebo přípravkem a skladování látky nebo přípravku				
7.1	Zacházení:				
7.1.1	Standardní zacházení. Zajistit účinné větrání. V daném prostoru vyloučit všechny možné zdroje vznícení.				
7.1.2	Výrobek není nebezpečný pro životní prostředí a vodu - nejsou nutná žádná opatření.				
7.1.3	Specifické požadavky: nejsou				
7.2	Skladování:				
7.2.1	Granulát je skladován v PE pytlích nebo oktabínech s PE vložkou, dodržovat protipožární opatření.				
7.2.2	Množstevní skladovací limity nejsou dány.				
7.3	Specifická použití: viz bod 1.2				
8.	Omezování expozice látkou nebo přípravkem a ochrana osob				
8.1	Expoziční limity: nejsou				
8.2	Omezování expozice:				
8.2.1	Omezování expozice pracovníků: Na pracovišti je třeba zajistit účinné větrání. Použít osobní ochranné prostředky.				

		BEZPEČNOSTNÍ LIST		zpracovaný podle zákona 356/2003 Sb. v platném znění	
Datum vydání: 12/1999 Datum revize: 01/2006		FORSAN®		Strana 2 ze 3	
Název výrobku:		Typy : 449, 548, 846			
8.2.1.1	Ochrana dýchacích orgánů: ve větraných místnostech není třeba				
8.2.1.2	Ochrana očí: ochranné brýle nebo obličejový štít				
8.2.1.3	Ochrana rukou: ochranné rukavice (látkové, kožené atd.)				
8.2.1.4	Ochrana kůže: pracovní oblek				
8.2.2	Omezování expozice životního prostředí: Výrobek není nebezpečný pro životní prostředí a vodu.				
9.	Informace o fyzikálních a chemických vlastnostech látky nebo přípravku				
9.1	Všeobecné informace: Skupenství (při 20 °C): pevná látka Barva: barevný granulát (dle přání zákazníka) Zápach (vůně): bez zápachu				
9.2	Důležité informace z hlediska ochrany zdraví, bezpečnosti a životního prostředí pH (při °C): nestanovuje se Teplota tání (°C): cca 100 Teplota varu (°C): nestanovuje se Bod vzplanutí (°C): 305 – 365 Hořlavost: po zapálení hoří Výbušné vlastnosti: nestanovuje se Oxidační vlastnosti: nejsou Tenze par (při 20°C): neodpařuje se Hustota: 1027 - 1039 kg/m ³ při 20 °C Rozpustnost: - ve vodě : nerozpustný - v tucích: nezjištěno Rozdělovací koeficient n-oktanol/voda: nestanovuje se Viskozita: nestanovuje se Relativní hustota par (vzduch = 1): nestanovuje se Rychlost odpařování: neodpařuje se				
9.3.	Další informace: Teplota vznícení: 335 - 410°C Obsah HCN ve zplodinách hoření: 0,49 - 0,53 %				
10.	Informace o stabilitě a reaktivitě látky nebo přípravku				
10.1	Podmínky, za nichž je výrobek stabilní: stabilní do 120 °C z hlediska uvolňování látek, škodlivých zdraví				
10.2	Materiály, které nelze použít: silná oxidovadla, silné kyseliny a zásady				
10.3	Nebezpečné produkty rozkladu: • potřeba a přítomnost stabilizátorů: není třeba • možnost nebezpečné exotermní reakce: při teplotách nad 120 °C dochází k uvolňování látek škodlivých zdraví, ačkoli fyziologické účinky nebyly zjištěny, při teplotách od 250 °C do 300 °C dochází k uvolňování oxidů uhlíku a dusíku, při 400 °C hustý kouř obsahuje styren, nad 500 °C rozkladné produkty obsahují kyanovodík, vodík a uhlovodíky. • případný význam změny fyzikálního stavu látky nebo přípravku pro bezpečnost: viz bod „možnost nebezpečné exotermní reakce“ • nebezpečné produkty rozkladu, které vznikají při styku s vodou: viz bod „možnost nebezpečné exotermní reakce“ • možnost rozkladu na nestabilní produkty: viz bod „možnost nebezpečné exotermní reakce“				
11.	Informace o toxikologických vlastnostech látky nebo přípravku				
	Výrobek není toxický, prach může dráždit dýchací cesty a oči.				
11.1	Nebezpečné účinky pro zdraví: Vdechování: vdechnutí většího množství prachu může dráždit dýchací cesty Požití: není pravděpodobné Styk s kůží: viz bod 4.3 Styk s okem: prach může dráždit oči				
11.2	Akutní toxicita • LD ₅₀ , orální, potkan (mg/kg): nestanovuje se • LD ₅₀ , dermální, potkan nebo králík (mg/kg): nestanovuje se • LC ₅₀ , inhalační, potkan, pro aerosoly nebo částice (mg/m ³): nestanovuje se • LC ₅₀ , inhalační, potkan, pro plyny a páry (mg/m ³): nestanovuje se Subchronická – chronická toxicita: není Senzibilizace: není Karcinogenita: není				

		BEZPEČNOSTNÍ LIST	zpracovaný podle zákona 356/2003 Sb. v platném znění
Datum vydání: 12/1999		FORSAN®	Strana 3 ze 3
Datum revize: 01/2006			
Název výrobku:		Typy : 449, 548, 846	
Mutagenita: není			
Toxicita pro reprodukci: není			
Zkušenosti u člověka: nejsou			
Provedení zkoušek na zvířatech: ne			
12.	Ekologické informace o látce nebo přípravku:		
12.1	Ekotoxicita:		
	Akutní toxicita pro vodní organismy:		
	LC ₅₀ , 96 hod., ryby (mg/m ³): nestanovuje se		
	EC ₅₀ , 48 hod., dafnie (mg/m ³): nestanovuje se		
	IC ₅₀ , 72 hod., řasy (mg/m ³): nestanovuje se		
12.2	Mobilita: výrobek lze mechanicky odstranit		
12.3	Persistence a rozložitelnost: látka je nerozložitelná a není těkavá		
12.4	Bioakumulační potenciál: nestanovuje se		
12.5	Další nepříznivé účinky: nejsou		
13.	Pokyny pro odstraňování látky nebo přípravku		
13.1	Mechanicky odstranit, spálit ve speciálních spalovnách chemického odpadu, zachovávat platná legislativní opatření.		
13.2	Obal není kontaminován – lze znovu použít.		
13.3	Právní předpisy o odpadech:		
	Zákon č. 188/2004 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění.		
14.	Informace pro přepravu látky nebo přípravku		
	Výrobek není nebezpečnou látkou pro přepravu.		
15.	Informace o právních předpisech		
15.1	Informace, uvedené na obalu:		
	Výstražné symboly nebezpečnosti: nejsou; R - věty: nejsou; S - věty: nejsou		
15.2	Specifická ustanovení, týkající se ochrany osob a životního prostředí: nejsou		
15.3	Právní předpisy, které se vztahují k látce:		
	Zákon č. 356/2003 Sb. o chemických látkách a přípravcích a o změně některých zákonů, v platném znění		
	Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, v platném znění.		
	Vyhláška č. 231/2004 Sb., kterou se stanoví podrobný obsah bezpečnostního listu k nebezpečné chemické látce a chemickému přípravku.		
16.	Další informace		
	Údaje obsažené v tomto listu se týkají pouze uvedeného výrobku a odpovídají našim současným znalostem a zkušenostem a nemusí být vyčerpávající.		
	Za zacházení podle existujících zákonů a nařízení odpovídá uživatel.		
16.1	Seznam všech R-vět uvedených v tomto bezpečnostním listu: nejsou		
16.2	Pokyny pro školení: viz §132 Zákoníku práce		
16.3	Doporučená omezení použití: pokud by byla látka používána jinak než je uvedeno v bodě 1.2, bližší informace podá obchodní oddělení viz bod 1.3		
16.4	Tento bezpečnostní list byl zpracován výrobcem podle vyhlášky č. 231/2004 Sb. v platném znění		
	Změny provedl: P. Přerost		
16.5	Změny při revizi: byly revidovány kapitoly 3; 16		

Seznam obrázků

Obrázek 1 Předpony [1]	14
Obrázek 2 Schématické znázornění stereoizomerie (takticity) polystyrenu [1]	15
Obrázek 3 Termomechanická křivka [1]	16
Obrázek 4 Distribuční křivka molekulových hmotností polymeru [1]	20
Obrázek 5 Prostorové zesíťování [1]	22
Obrázek 6 Základní rozdělení polymerů	25
Obrázek 7 Silentbloky [5]	25
Obrázek 8 Suzuki DR BIG 800S - kapotáž z reaktoplastu	26
Obrázek 9 Granulát ABS [9]	28
Obrázek 10 Výrobky z ABS plastu (radio, tablet, palubní deska atd.) [11]	30
Obrázek 11 Schéma měřících přístrojů [13]	31
Obrázek 12 Kotoučové brusky	32
Obrázek 13 Brousící papír SIC	32
Obrázek 14 Pec, váhy, adiabatická komora	33
Obrázek 15 Konstrukční řešení komory	Obrázek 16 Pyrometrické čidlo
Obrázek 17 Elektronika	33
Obrázek 18 Závislost poklesu teploty vzorku na čase [14]	33
Obrázek 19 Teoreticky fitting procedura [14]	34
Obrázek 20 Prakticky fitting proces [14]	34
Obrázek 21 Skutečné zobrazení procesu [14]	35
Obrázek 22 Detailní pohled [14]	35
Obrázek 23 Vzorky ABS plastu po tahové zkoušce	39
Obrázek 24 Schéma univerzálního trhačího stroje [16]	39
Obrázek 25 Název stroje	40
Obrázek 26 Čelisti trhačího stroje	40
Obrázek 27 Příklady tahových testů [17]	41
Obrázek 28 Vyhodnocení hodnot do grafu - křivka mez pevnosti v tahu pro ABS	44
Obrázek 29 Trhačí stroj s pomocnými přípravky na ohyb	45
Obrázek 30 Probíhající ohybová zkouška	45
Obrázek 31 Poloha zkušební vzorku na začátku zkoušky [18]	46
Obrázek 32 Vzorová vrstva	48

Obrázek 33 Ohybová zkouška po dosáhnutí 90°	48
Obrázek 34 Zkušební vzorek s úhlem téměř 160°	49
Obrázek 35 Graf ohybové zkouška pro ABS2	49
Obrázek 36 Detail grafu ohybové zkoušky ABS2.....	49
Obrázek 37 Charpyho kladivo[20]	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 Označování[1]	14
Tabulka 2 Zkratky polymerů [7].....	27
Tabulka 3 Vlastnosti ABS [10].....	29
Tabulka 4 Výpočet rozměrů	37
Tabulka 5 Rozměry zkušebního vzorku v tahové zkoušce.....	43
Tabulka 6 Vypočtené hodnoty pevnosti v tahu [17].....	43
Tabulka 7 Rozměry zkušebního vzorku pro ohybovou zkoušku.....	47
Tabulka 8 Vypočtené hodnoty z ohybové zkoušky	47
Tabulka 9 Výsledky měření dle Charpyho	51